

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 21/03/2023.



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Jáder Camilo Pinto

**Aplicação de diferentes métodos de análise de imagens para pesquisa em
Endodontia: tomografia computadorizada de feixe cônico, micro-CT e nano-CT**

Araraquara

2022



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Jáder Camilo Pinto

Aplicação de diferentes métodos de análise de imagens para pesquisa em Endodontia: tomografia computadorizada de feixe cônico, micro-CT e nano-CT

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araraquara para obtenção do título de Doutor em Odontologia, na Área de Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Mario Tanomaru Filho

Araraquara

2022

P659a

Pinto, Jáder Camilo

Aplicação de diferentes métodos de análise de imagens para pesquisa em Endodontia: tomografia computadorizada de feixe cônico, micro-CT e nano-CT / Jáder Camilo Pinto. -- Araraquara, 2022

210 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara

Orientador: Mario Tanomaru Filho

1. Endodontia. 2. Dentina. 3. Preparo de canal radicular. 4. Cavidade Pulpar. 5. Microtomografia por Raio-X. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Jáder Camilo Pinto

Aplicação de diferentes métodos de análise de imagens para pesquisa em Endodontia: tomografia computadorizada de feixe cônico, micro-CT e nano-CT

Comissão julgadora

Qualificação para obtenção do grau de Doutor em Odontologia

Presidente e orientador: Prof. Dr. Mario Tanomaru-Filho

2º Examinador: Prof. Dr. André Ferreira Leite

3º Examinador: Prof. Dr. Bruno Cavalini Cavenago

4º Examinador: Prof. Dr. Giulio Gavini

Araraquara 21 de março de 2022

DADOS CURRICULARES

Jáder Camilo Pinto

NASCIMENTO: 16/10/1984, Resende Costa, MG.

FILIAÇÃO: Marieta Dalva de Mendonça Pinto

Vanderlei Camilo Pinto

2004 – 2007 - Graduação em Odontologia no Centro Universitário de Lavras,
UNILAVRAS, Brasil.

2009 – 2011 - Especialização em Endodontia no Centro Universitário de Lavras,
UNILAVRAS, Brasil.

2016 – 2018 - Pós-graduação em Odontologia, Área de Endodontia, nível Mestrado,
na Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista –
UNESP.

2020 - 2021 - Período Sanduíche Doutorado - Faculdade de Medicina, Universidade
Católica de Leuven – KU Leuven, Bélgica

2018 – 2022 - Pós-graduação em Odontologia, Área de Endodontia, nível
Doutorado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual
Paulista – UNESP.

À minha esposa Paula pelo carinho, amor e apoio!

AGRADECIMENTOS

Foram quatro anos de dedicação e muito estudo para a obtenção do título de Doutor em Odontologia, ênfase em Endodontia, pela Faculdade de Odontologia de Araraquara, UNESP. Durante esse período, circulei por três instituições onde fui acolhido e encontrei pessoas que me ajudaram bastante. Correndo o risco de omitir alguém, gostaria de listar nomes de pessoas e instituições que me deram suporte e deixar registrado meu mais sincero agradecimento por tudo que fizeram por mim

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a meu orientador Prof. Dr. Mário Tanomaru Filho. Não tenho palavras para expressar minha gratidão e admiração pelo meu orientador. Sua dedicação a pesquisa, a presença e o constante estímulo deixaram marcas nesta tese e na minha formação. Para mim, foi uma honra tê-lo como orientador. Muito do meu rigor científico foi adquirido pelo seu exemplo de como executar um experimento, analisar os dados e desenvolver um adequado raciocínio na escrita. E por tudo isso, eu só tenho a agradecer: muito obrigado Professor Mário!

Gostaria de agradecer aos membros da banca de defesa de doutorado, Prof. Dr. André Ferreira Leite, Prof. Dr. Bruno Cavalini Cavenago, e Prof. Dr. Giulio Gavini pela leitura criteriosa da tese e suas contribuições para as melhorias no trabalho. Destaco o agradecimento especial ao Prof. Dr. André Ferreira Leite, que além da leitura, contribuiu significativamente com o desenvolvimento dos experimentos e escrita de vários artigos desta tese. Agradeço também os membros suplentes da banca, Prof^ª. Dr^ª. Karla de Faria Vasconcelos, Prof. Dr. Daniel Almeida Decurcio e Prof. Dr. Marco Antonio Hungaro Duarte pelo pronto aceite da leitura da tese. Devo um agradecimento especial à Prof^ª. Dr^ª. Karla de Faria Vasconcelos, que ainda contribuiu significativamente tanto na metodologia, quanto na escrita de várias publicações desta tese.

Agradeço à Faculdade de Medicina, Universidade Católica de Leuven (KU Leuven), Bélgica, pela acolhida e pela experiência incrível de viver um ano fora do Brasil. Agradeço à Prof^ª Dr^ª. Reinhilde Jacobs por me aceitar no estágio e pela amabilidade com que sempre me ensinou e supervisionou meus trabalhos. Agradeço a todos os amigos que lá me receberam, dividindo muito conhecimento e ótimos momentos. Volto a destacar meus grandes amigos Prof^ª. Dr^ª. Karla de Faria Vasconcelos e ao Prof. Dr. André Ferreira Leite que fizeram muito por mim na

Bélgica e, depois, no Brasil. Vocês me acolheram como família e palavras me faltam para explicar e agradecer o sentimento de amizade que me envolve. Estendo este agradecimento ao Kristof e Lucas e à Gabriela, Mariana e Gabriel. Muito obrigado, meus amigos! Ainda da Bélgica para o Brasil e Hungria, um agradecimento especial aos amigos da “Abrolhos gang”, Maurício Gerhardt e Artúr Kesztyűs, sempre companheiros nos trabalhos científicos e nos momentos de descontração dos finais de semana.

Ao Instituto de Física, Universidade de São Paulo (IFSC-USP) agradeço a parceria no desenvolvimento deste trabalho. Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Tito José Bonagamba e Dr. Everton Lucas Oliveira pela valiosa colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Juliane Maria Guerreiro Tanomaru agradeço por todo apoio e ensinamentos despendidos a mim desde o início do mestrado. Aos meus professores da Foar-Unesp à Prof^a. Dr^a Gisele Faria e aos professores doutores Idomeo Bonetti Filho, Fábio Berbet e Renato Leonardo as palavras de incentivo e os ensinamentos passados a mim nestes seis anos de instituição.

Gostaria de deixar registrado minha gratidão aos meus professores do UNILAVRAS, Dr. Marcone Reis Luis e Ms. Nemam Jorge Murad pela formação e o incentivo à prática da endodontia, assim como o apoio para que eu seguisse nesta nova etapa da minha vida.

Aos meus amigos Karina e Airton pelo companheirismo durante estes últimos quatro anos, à Fernanda pela amizade e valiosas contribuições neste trabalho e aos meus amigos, que em algum momento compartilharam comigo esta jornada da Pós-Graduação, Bernardo, Índia, Gissele, Carlos, Victor, Cristiane e Hernán. Não posso deixar de mencionar Alejandro, grande amigo da época de mestrado.

Em especial, gostaria de agradecer à minha esposa Paula, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional sem o qual eu não poderia fazer esta pós-graduação.

Agradeço aos meus pais Vanderlei e Dalva, por tudo que me proporcionaram para que pudesse chegar até aqui.

Aos meus sogros Maria Lúcia e Jorge, que sempre me apoiaram e me incentivaram muito.

Agradecimento especial à Denita, pela torcida e oração constantes.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Foar-Unesp a acolhida.

Por fim, agradeço à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo nº 2018/19665-6 e 2019/22885-0), pelas bolsas de estudos concedida durante todo o Doutorado, cujo apoio financeiro foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

“Dê-me, Senhor, agudeza para entender, capacidade para reter, método e faculdade para aprender, sutileza para interpretar, graça e abundância para falar, acerto ao começar, direção ao progredir e perfeição ao concluir. ”

São Tomás de Aquino

Pinto JC. Aplicação de diferentes métodos de análise de imagens para pesquisa em Endodontia: tomografia computadorizada de feixe cônico, micro-CT e nano-CT. [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2022.

RESUMO

Imagens tridimensionais são amplamente utilizadas na endodontia para avaliação de técnicas e materiais endodônticos, além de diagnóstico, planejamento e preservação. O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes etapas do tratamento endodôntico usando microtomografia computadorizada (micro-CT) e nanotomografia computadorizada (nano-CT), além da avaliação de estruturas endodônticas pequenas por meio de diferentes aparelhos de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). Publicação 1 – Avaliou a influência do tamanho do voxel em análise do preparo do canal radicular por micro-CT. Imagens de micro-CT usando diferentes tamanhos de voxel não influenciaram os resultados de aumento de volume e avaliação de debris. Porém, as imagens a 5 µm mostraram maior acurácia para avaliar a porcentagem de superfícies não instrumentadas. Publicação 2 – Avaliou a influência do tamanho do voxel do micro-CT na detecção de microtrincas dentinárias. Diferentes tamanhos de voxel influenciam a análise de microtrincas por micro-CT. Análises a 5 µm mostraram que o preparo do canal radicular com HyFlex EDM aumentou a presença de microtrincas no terço médio. Publicação 3 – Avaliou a influência do tamanho do voxel de micro-CT na avaliação de debris. Os tamanhos dos voxels avaliados não tiveram impacto significativo na análise de debris. Publicação 4 – Investigou a capacidade de preenchimento de Bio-C Sealer em comparação com AH Plus usando diferentes métodos de segmentação e tamanhos de voxel em imagens de micro-CT. Bio-C Sealer mostrou capacidade de preenchimento similar ao AH Plus. Segmentação visual e automática podem ser aplicadas a imagens de micro-TC com tamanhos de voxel de 5 a 20 µm para análise do preenchimento de cimentos com radiopacidade adequada. Publicação 5 - Avaliou a influência do cimento endodôntico na remoção do material obturador, bem como a eficácia do XP-endo Finisher e PDL 50/.01 como protocolo de retratamento complementar. A remoção do AH Plus foi menor do que no Bio-C. PDL 50/.01 e XP-endo Finisher proporcionaram maior remoção de materiais obturadores no terço apical após o retratamento. Publicação 6 - Investigou a influência do tamanho do voxel na avaliação por micro-CT da remoção de material obturador remanescente. Os tamanhos dos voxel utilizados não influenciaram nas análises de material obturador residual. Publicação 7 – Classificou dez dispositivos de TCFC de acordo com a detecção de estruturas endodônticas finas. As tarefas endodônticas avaliadas foram dependentes do dispositivo de TCFC, e sua detecção foi influenciada pela presença de metal. Publicação 8 - Avaliou a influência dos protocolos de TCFC e a presença de metal na visualização de trincas radiculares e estruturas anatômicas endodônticas pequenas. A capacidade das imagens de TCFC para análise de trincas é altamente limitada e restrita. Estruturas anatômicas endodônticas pequenas são melhor visualizadas com um protocolo com FOV pequeno e alta resolução, desde que não haja objetos de alta densidade na região de interesse. Publicação 9 - Avaliou a influência do alargamento foraminais na formação de microtrincas e transporte apical em canais radiculares com curvatura apical. O alargamento

foraminal promoveu novas microtrincas, não observadas no grupo controle. Maior transporte apical foi observado quando o alargamento foraminal foi realizado.

Palavras-chave: Endodontia. Dentina. Preparo de canal radicular. Cavidade pulpar. Microtomografia por Raio-X.

Pinto JC. Application of different methods of image analysis for research in Endodontics: cone beam computed tomography, micro-CT and nano-CT. [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2021.

ABSTRACT

Three-dimensional images are widely used in endodontics, both in the evaluation of endodontic techniques and materials and in diagnosis, planning and prognosis. The aims of this study was to evaluate different steps of endodontic treatment using computed microtomography (micro-CT) and computed nanotomography (nano-CT). Additionally to verify the capacity of 10 cone beam computed tomography (CBCT) devices to visualize small endodontic structures. Publication 1 – Assessed the influence of micro-computed tomography (micro-CT) voxel size on evaluation of the root canal preparation. Micro-CT images using different voxel sizes did not influence the results of volume increase and debris evaluation. However, images at 5 μm showed greater accuracy to evaluate the percentage of uninstrumented surfaces. Publication 2 - Assessed the influence of micro-CT voxel size on dentinal microcrack detection. The voxel size may influence the detection of dentinal microcracks. HyFlex EDM caused even more microcracks to develop in the middle third, detectable only by visualization of images made at 5 μm voxel size. Publication 3 – Assessed the influence of micro-CT voxel size on the evaluation of debris accumulation. The voxel sizes evaluated did not have a significant impact on the analysis of accumulated debris. Publication 4 – Investigated the filling ability of Bio- C Sealer in comparison with AH Plus using different segmentation methods and voxel sizes in micro-CT images. Bio-C Sealer had appropriate filling ability. Visual and automatic segmentation can be applied to micro-CT images with voxel sizes from 5 to 20 μm to evaluate the filling of sealers with adequate radiopacity. Publication 5 - Assessed the influence of root canal sealers on filling material removal during endodontic retreatment, as well as to compare the efficacy of XP-endo Finisher and ProDesign Logic 50/.01 as supplementary retreatment protocols. The removal of AH Plus was more difficult than in Bio-C. PDL 50/.01 and XP-endo Finisher provided greater removal of filling materials in the apical third after retreatment. Publication 6 - Investigated the influence of micro-CT voxel size on assessment of remaining filling material. The voxels sizes used (5, 10 and 20 μm) did not influence the analyzes of residual filling material in both sealers evaluated. Publication 7 – Classified ten CBCT devices, by using a ranking model, according to the detection of fine endodontic structures. The evaluated endodontic tasks were CBCT device-dependent, and its detection was influenced by the presence of metal. Publication 8 – Assessed the influence of CBCT scanning protocols and the presence of metal on the visualization of root cracks and fine endodontic anatomical structures. The capacity of CBCT images for visualizing cracks is highly limited and restricted to certain devices and protocols in the absence of metal. Fine endodontics structures were better visualized with a small FOV high-resolution protocol as long as there were no high-density objects in the region of interest. Publication 9 - Evaluated the foraminal enlargement and its influence on microcrack formation and apical transportation in root canals with apical curvature. The foraminal enlargement promoted new microcracks, not observed in the control group. Higher apical transportation was observed when foraminal enlargement was performed.

Keywords: Endodontics. Dentin. Root Canal Preparation. Dental Pulp Cavity. X-Ray Microtomography.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 PROPOSIÇÃO.....	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
3 PUBLICAÇÕES	23
3.1 Publicação 1	23
3.2 Publicação 2	36
3.3 Publicação 3	52
3.4 Publicação 4	66
3.5 Publicação 5	85
3.6 Publicação 6	102
3.7 Publicação 7	116
3.8 Publicação 8	131
3.9 Publicação 9	150
4 DISCUSSÃO	165
5 CONCLUSÃO	169
REFERÊNCIAS	171
APÊNDICE.....	182
ANEXO	204

1 INTRODUÇÃO

Imagens tridimensionais obtidas por microtomografia computadorizada (micro-CT) são amplamente utilizadas para avaliação de todas as etapas do tratamento endodôntico¹⁻³. No entanto, parâmetros adequados para os escaneamentos por micro-CT ainda são estudados. Apesar de imagens com maior resolução, apresentando menor tamanho de voxel, serem mais indicadas para as análises por micro-CT⁴, elas demandam maior tempo de escaneamento e maior tempo para o carregamento nos softwares de reconstrução e análise.

Para análise do preparo de canais radiculares, as resoluções de aquisição são variadas^{1,3,5-9}, podendo trazer resultados diversos nas diferentes comparações⁶⁻⁸. Para análise de debris após preparo ou limpeza dos canais radiculares, esta variação de parâmetros também é observada^{1,6,10}, podendo mostrar limitações para análise destas estruturas¹²⁻¹⁴. Por exemplo, voxels que representam a parede da dentina removida durante a instrumentação e ocupada por detritos de tecido duro podem não ser avaliados com precisão^{1,12}.

A análise de microtrincas dentinárias por micro-CT também apresenta limitações¹⁵, sobretudo com relação as diferentes resoluções de escaneamento usadas¹⁶⁻²⁰. Além disso, o uso de micro-CT para visualizar pequenas trincas mostrou menor acurácia que o microscópio cirúrgico com transiluminação¹⁵. Assim, para detectar pequenas estruturas ou realizar medições de alta precisão, uma ferramenta de maior precisão é necessária²¹. Os dispositivos de nano tomografia computadorizada (nano-TC) apresentam pequeno ponto focal e aumento da relação sinal-ruído, possibilitando atingir resolução espacial máxima na faixa submicrométrica²². Além disso, os dispositivos nano-CT são equipados com detectores de tela plana (FPD) que geram qualidade de imagem superior à dos dispositivos charge-couple (CCD), proporcionando imagens sem distorção, alta sensibilidade a raios-X e excelente resolução de contraste²³.

O preparo biomecânico visa proporcionar limpeza e conformação do canal radicular, por meio da ação mecânica dos instrumentos e atuações física e química das soluções irrigadoras²⁴. A desinfecção e completa limpeza do sistema de canais radiculares é um procedimento complexo²⁵. Configurações anatômicas desafiadoras, como curvaturas⁹, fazem com que o preparo seja ainda mais desafiador⁵. A evolução

dos instrumentos endodônticos fabricados com ligas de Níquel e Titânio (NiTi) usando tratamento térmico permitiu maior resistência à fadiga cíclica e maior flexibilidade^{26,27} proporcionando preparos centralizados em canais curvos²⁸.

HyFlex CM (Coltene / Whaledent AG, Altstatten, Suíça) é um Sistema NiTi com tratamento térmico control memory (CM), que proporciona maior resistência à flexão para a liga de NiTi^{29,30}. O sistema Hyflex EDM (Coltene / Whaledent AG, Altstatten, Suíça) é composto por instrumentos com tratamento térmico CM, e que são confeccionados por eletro-erosão³⁰. Este método proporciona superfície dura e áspera e melhora a ação de corte e propriedades mecânicas do instrumento³¹⁻³³. O Sistema HyFlex EDM é composto de instrumentos rotatórios de alargamento cervical 25.12, para Glide Path 10.05, modelagem 25.08 e instrumentos para ampliação apical 40.04, 50.03 e 60.02.

A Easy Equipamentos Odontológicos é uma indústria brasileira que desenvolve instrumentos de NiTi com tratamento térmico CM. ProDesign Logic segue o conceito de lima única em movimento rotatório após glide path com instrumentos para exploração (25.01, 30.01, 35.01 e 40.01). Além dos instrumentos para preparo final dos canais radiculares (conicidades .05 e .06) existem instrumentos intermediários (conicidades .03 e .04), indicados para canais atresiaados e curvos. ProDesign Logic apresenta maior resistência à fadiga cíclica que os instrumentos recíprocos Wave One Gold³⁴. Em estudo por micro-CT, ProDesign Logic apresentou menor transporte em raízes mesiais de molares inferiores, quando comparado aos instrumentos ProTaper Gold, ProDesign S, e HyFlex EDM³⁰. O sistema Reciproc Blue, (VDW, Munique, Alemanha) é acionado em movimentação recíproca a esquerda, e apresenta as mesmas dimensões do Reciproc. O tratamento térmico Blue Wire modifica a estrutura molecular dos instrumentos aumentando flexibilidade e resistência à fadiga cíclica³⁵.

O preparo com adequada conicidade e manutenção do trajeto original do canal radicular favorece a obturação^{36,37}. Uma obturação correta pode impedir a reinfecção do sistema de canais radiculares e o desenvolvimento da lesão periapical. Técnicas obturadoras que empregam cone único com tamanho semelhante aos instrumentos mecanizados de NiTi de modelagem, tem como principais vantagens a facilidade de execução, baixo custo e tempo de procedimento curto^{38,39}. Todavia, as técnicas de obturação necessitam de cimentos endodônticos para o preenchimento

entre a guta percha e a parede do canal⁴⁰. AH Plus é um cimento obturador à base de resina epóxi, considerado padrão ouro devido suas excelentes propriedades físico-químicas⁴¹. Cimentos endodônticos à base de trissilicato de cálcio apresentam capacidade de induzir diferenciação celular^{42,43}, além de apresentarem bioatividade, estimulando a mineralização^{43,44}. Recentemente foi desenvolvido o cimento biocerâmico Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, PR, Brazil), que segundo o fabricante não apresenta material resinoso em sua composição, sendo assim, sua viscosidade é dada por um álcool de cadeia longa, o polítilenoglicol, aumentando sua biocompatibilidade. Este material apresenta adequada radiopacidade e escoamento, curto tempo de presa, capacidade de alcalinização⁴⁵ e baixo percentual de falhas após imersão em diferentes meios de armazenamento⁴⁶. Desta forma, se justifica a avaliação do preenchimento Bio-C Sealer em canais radiculares, sobretudo em canais curvos que apresentam maior desafio para obturação endodôntica.

Vários estudos utilizaram micro-CT como método de avaliação da capacidade de preenchimento das obturações endodônticas, comparando o volume dos canais preparados e após a obturação com diferentes técnicas obturadoras em diferentes resoluções, dificultando comparações mais precisas⁴⁷⁻⁵⁰. As imagens para análise de obturação têm sido obtidas com diferentes parâmetros de resolução⁴⁷⁻⁴⁹, sendo ainda relatada dificuldade ou até mesmo impossibilidade de observação de determinadas estruturas, como falhas ou gaps^{50,51}. Segundo alguns autores a formação de artefatos também pode dificultar a análises de obturação, uma vez que tanto o cimento quanto a guta percha apresentam grande radiopacidade, podendo ocasionar margens borradas e mal definidas^{52,53}. Assim, se faz necessário verificar a reprodutibilidade das análises da presença de falhas na obturação endodôntica, usando materiais com radiopacidades diferentes e métodos menos dependentes do avaliador.

Em alguns tratamentos endodônticos, devido à persistência bacteriana já existente ou contaminação do canal radicular posterior ao tratamento, o retratamento endodôntico é indicado³⁷. A remoção do material obturador pode ser realizada de diversas maneiras, como uso de instrumentos manuais, instrumentos rotatórios, reciprocantes ou mesmo associações de técnicas. O emprego de técnicas que utilizam instrumentos rotatórios na remoção da massa obturadora do interior do canal radicular permite remoção da guta-percha em direção coronária reduzindo o

risco de extravasamento de material obturador⁵⁴. No entanto nenhuma técnica de retratamento é capaz de remover totalmente o material obturador do interior dos canais radiculares^{55,56}.

O sistema ProDesign Logic RT (Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil) foi desenvolvido especificamente para realização de retratamento endodôntico. Este sistema é composto por três instrumentos fabricados com liga de NiTi submetida a tratamento térmico CM, seguindo o conceito de preparo coroa ápice: 30.10 para ser empregada no terço cervical, 25.08 para o terço médio e 20.06 para o terço apical. XP-endo Finisher (XP-F) (FKGDentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça) é um instrumento de NiTi, que tem forma de C em sua ponta, sendo acionado em movimentação rotatória. Este instrumento é fabricado a partir de uma liga de NiTi com tratamento térmico MaxWire, tem um tamanho de ponta ISO # 25 e não possui conicidade, porém quando ativado, após exposição à temperatura corporal (35° C) se expande em até 6 mm. O instrumento XP-F mostrou bons resultados com relação à remoção de debris na limpeza final⁵⁷ e na complementação de limpeza em retratamento de canais radiculares⁵⁹.

Análises em micro-CT são eficazes para comparações do retratamento endodôntico, uma vez que fornece uma avaliação quantitativa dos resíduos de materiais obturadores em mm³ ^{60,61}. Porém não existe uma padronização com relação ao tamanho de voxel dos escaneamentos e aos parâmetros de aquisição de imagens^{55,58-61}. Resultados divergentes entre os estudos têm sido atribuídos à anatomia dos canais radiculares⁵⁹, material obturador ou procedimentos de retratamento⁶². Porém as diferentes resoluções empregadas entre as análises devem ser levadas em consideração, uma vez que, dependendo do que se visa avaliar, a utilização de resoluções elevadas permite a análise de estruturas específicas e de tamanhos reduzidos^{63,64}.

Além de todos os fatores técnicos relacionados as diferentes etapas do tratamento endodôntico, o conhecimento da anatomia radicular é importante para o diagnóstico, tratamento e prognóstico das doenças endodônticas⁶⁵⁻⁶⁷. A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) é uma tecnologia de TC avançada com ampla aplicação em imagiologia dentomaxilofacial, uma vez que este método permite a análise de pequenas estruturas em três dimensões. As imagens de TCFC

permitem um melhor conhecimento da detecção de características endodônticas, impactando diretamente nas decisões clínicas⁶⁵⁻⁶⁷

No entanto, a detecção precisa de estruturas anatômicas pequenas como canal estreito, istmo, ramificações e pequenas trincas radiculares em imagens TCFC permanece um desafio⁶⁷⁻⁶⁹. Além disso, o diagnóstico baseado em TCFC é dificultado por artefatos decorrentes de materiais de alta densidade, como gutapercha, cimentos endodônticos e pinos metálicos⁷⁰⁻⁷³. Assim, deve-se ter cuidado ao interpretar os relatórios baseados em TCFC para fins endodônticos^{67,74-80}. Ainda, a qualidade da imagem obtida por um aparelho TCFC não podem ser simplesmente extrapolados para outro aparelho de TCFC^{81,82}. Embora estudos anteriores tenham mostrado alta sensibilidade e especificidade para imagens de TCFC^{67,75}, outros estudos não mostraram diferença significativa entre esta modalidade de imagem e imagens 2D para a realização de diferentes tarefas⁸³⁻⁸⁵. Essa variabilidade pode ser explicada pela grande diversidade de aparelhos de TCFC disponíveis no mercado, com características técnicas distintas e, conseqüentemente, desempenho clínico diferente^{86,87}.

A seleção de protocolos de alta resolução em dispositivos de TCFC é fortemente recomendada para visualizar pequenas estruturas do sistema de canais radiculares e do periodonto⁸⁸. Embora alguns autores recomendem uma TCFC com pequeno campo de visão (FOV) e tamanhos pequenos de voxels⁸⁹ para aplicações endodônticas, uma revisão sistemática não encontrou qualquer correlação entre tamanhos menores de voxels e melhor precisão diagnóstica de fraturas radiculares em pacientes com dentes não tratados endodonticamente⁸³. Além disso, o efeito do tamanho do voxel pode ser dependente do dispositivo devido a outros fatores limitantes para a resolução espacial⁹⁰. Portanto, a influência de diferentes dispositivos de CBCT, bem como do protocolo de aquisição e a presença de metal no campo de visão requerem uma investigação mais aprofundada.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados do presente estudo, pode-se concluir:

O tamanho de voxel não teve impacto significativo na análise do volume dos canais radiculares e de debris. Porém, o tamanho do voxel deve ser considerado como um fator potencial para superfície não instrumentada, uma vez que foram observados resultados diferentes para imagens a 5 μm , em comparação com imagens de tamanhos de voxel de 10 e 20 μm . PDL e HFEDM tiveram capacidade de preparo semelhantes.

Os diferentes tamanhos de voxel influenciaram a análise de microtrincas por micro-CT, sendo a maior precisão observada para análises realizadas com tamanho de voxel de 5 μm . HyFlex EDM causou ainda mais microtrincas no terço médio, detectáveis apenas pela visualização de imagens feitas em tamanho de voxel de 5 μm .

Os tamanhos dos voxels avaliados não tiveram impacto significativo na análise de debris. No entanto, os resultados mostraram uma tendência de detecção de mais debris em análises realizadas com um tamanho de voxel menor. O PUI reduziu o acúmulo de debris no terço médio dos canais radiculares curvos.

Bio-C Sealer e AH Plus forneceram capacidade de preenchimento adequada em canais radiculares curvos. Além disso, a segmentação visual e automática pode ser aplicada a imagens de micro-TC com tamanhos de voxel de 5 a 20 μm para avaliar a qualidade do preenchimento endodôntico. O método de segmentação automática deve ser considerado como primeira escolha para avaliar a qualidade da obturação do canal radicular devido às suas características rápidas, confiáveis e menos dependentes do operador.

A remoção do material obturador do terço apical foi mais fácil para os canais obturados com Bio-C Sealer do que com AH Plus. PDL 50/.01 e XP-endo Finisher proporcionaram maior remoção de materiais obturadores no terço apical após retratamento de canais radiculares curvos. Ambas as abordagens suplementares

não apresentaram transporte apical. PDL 50/.01 promoveu maior aumento de volume do terço apical que o XP-endo Finisher.

Imagens de micro-CT usando diferentes tamanhos de voxel não influenciaram na análise do material de preenchimento remanescente independentemente do cimento endodôntico, AH Plus ou Bio-C Sealer.

A visualização de estruturas endodônticas pequenas foi dependente do dispositivo de TCFCT e sua detecção foi influenciada pela presença de metal.

A capacidade de visualização de pequenas trincas em imagens de TCFC é altamente limitada e restrita a determinados dispositivos e protocolos na ausência de metal. A visualização de estruturas endodônticas pequenas foi dependente do dispositivo TCFC com uma melhor capacidade observada para protocolo de alta resolução com FOV pequeno, desde que não houvesse objetos de alta densidade adjacentes à região de interesse

O alargamento do forame apical pode aumentar a formação de microtrincas e o transporte do canal, especialmente quando limas maiores são utilizadas, reforçando o conceito de restringir os procedimentos de instrumentação do canal radicular ao limite do canal radicular.

REFERÊNCIAS*

1. Freire LG, Iglecias EF, Cunha RS, 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.* 2015; 41(10): 1660-6.
2. Huang Y, Orhan K, Celikten B, ORHAN A, Tufenkci P, Sevimay S. Evaluation of the sealing ability of different root canal sealers: a combined SEM and micro-CT study. *J Appl Oral Sci.* 2018; 26. doi: 10.1590/1678-7757-2016-0584.
3. Rödiger T, Hausdörfer T, Konietschke F, Dullin C, Hahn W, Hülsmann M. Efficacy of D-RaCe and ProTaper Universal Retreatment NiTi instruments and hand files in removing gutta-percha from curved root canals: a micro-computed tomography study. *Int Endod J.* 2012; 45(6): 580–9.
4. Christiansen BA. Effect of micro-computed tomography voxel size and segmentation method on trabecular bone microstructure measures in mice. *Bone Re.* 2016; 5:136-40.
5. Versiani MA, De-Deus G, Vera J, Souza E, Steier L, Pécora JD, Sousa-Neto MD. 3D mapping of the irrigated areas of the root canal space using micro-computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2015; 19(4): 859-66.
6. 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 micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2015; 48(2): 162-70.
7. Stavileci M, Hoxha V, Görduysus Ö, Tatar I, Laperre K, Hostens J, Küçükkaya S, Muhaxheri E. Evaluation of root canal preparation using rotary system and hand instruments assessed by micro-computed tomography. *Med Sci Monit Basic Res.* 2015; 21: 123-30.
8. Ahmetoglu F, Keles A, Simsek N, Ocak MS, 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.* 2015; 37(3): 218-25
9. Pasqualini D, Alovisei M, Cemenasco A, Mancini L, Paolino DS, Bianchi CC, 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* 2015; 41(10): 1706-10.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

10. Leoni GB, Versiani MA, Silva-Sousa YT, Bruniera JF, Pécora JD, Sousa-Neto MD. 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*. 2017; 50(4): 398-406.
11. Li D, Jiang S, Yin X, Chang JW, Ke J, Zhang C. Efficacy of needle, ultrasonic, and endoactivator irrigation and photon-induced photoacoustic streaming in removing calcium hydroxide from the main canal and isthmus: an in vitro micro-computed tomography and scanning electron microscopy study. *Photomed Laser Surg*. 2015; 33(6): 330-7.
12. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod*. 2009; 35(7): 1044–7.
13. Robinson JP, Lumley PJ, Claridge E, Cooper PR, Grover LM, Williams RL, Walmsley AD. An analytical Micro CT methodology for quantifying inorganic dentine debris following internal tooth preparation. *J Dent*. 2012; 40(11): 999-1005.
14. Robinson JP, Lumley PJ, Cooper PR, Grover LM, Walmsley AD. Reciprocating root canal technique induces greater debris accumulation than a continuous rotary technique as assessed by 3-dimensional micro-computed tomography. *J Endod*. 2013; 39(8): 1067-1070.
15. Campello AF, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Loyola SC, Siqueira JF Jr, Machado AG, et al. Accuracy of microcomputed tomography in detecting dentinal cracks: a correlative study with scanning electron and operative microscopy. *Scanning* 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5571123>
16. Jamleh A, Komabayashi T, Ebihara A, Nassar M, Watanabe S, Yoshioka T, Miyara K, Suda H. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. *Int Endod J*. 2015; 48(12): 1103-11.
17. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H, et al. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod* 2015; 41(7): 1116-9.
18. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H, Lopes RT, Versiani MA. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File adaptive systems on dentinal cracks. *J Endod*. 2015; 41(7):1116-9.
19. Cassimiro M, Romeiro K, Gominho L, de Almeida A, Costa L, Albuquerque D. Occurrence of dentinal defects after root canal preparation with R-phase, M-Wire and Gold Wire instruments: a micro-CT analysis. *BMC Oral Health*. 2017; 17(11): 1-6

20. Ceyhanli KT, Erdilek N, Tatar I, Celik D. Comparison of ProTaper, RaCe and Safesider instruments in the induction of dentinal microcracks: a micro-CT study. *Int Endod J* 2016; 49(7): 684-9.
21. Aksoy C, Keris EY, Yaman SD, Ocak M, Geneci F, Celik HH. Evaluation of XP-endo Shaper, Reciproc Blue, and ProTaper Universal NiTi systems on dentinal microcrack formation using Micro-Computed Tomography. *J Endod.* 2019; 45(3): 338-42.
22. Kampschulte M, Langheinirch AC, Sender J, Litzlbauer HD, Althöhn U, Schwab JD, et al. Nano-Computed Tomography: Technique and Applications. *Rofo.* 2016; 188(2): 146-54.
23. Seibert JA. Flat-panel detectors: how much better are they? *Pediatr Radiol* 2006;36:173-81.
24. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974; 18(2): 269-96.
25. Wu MK, Dummer PM, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J.* 2006; 39(5): 343-56.
26. Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang Z, Shen Y. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. *J Endod.* 2015; 41(7): 1134-8.
27. Elnaghy AM, Elsaka E. Mechanical properties of ProTaper Gold Nickel Titanium rotary instruments. *Int Endod J.* 2016; 49(11): 1073-8.
28. Saber SEDM, Nagy MM, Schafer E. Comparative evaluation of the shaping ability of ProTaper Next, RaCe and Hyflex CM Rotary NITI files in severely curved root canals. *Int. Endod. J.* 2015; 48(2): 131-6.
29. Marceliano-Alves MF, Sousa-Neto MD, Fidel SR, Steier L, Robinson JP, Pécora JD, et al. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. *Int Endod J.* 2015; 48(12): 1129-36.
30. Pinheiro SR, Alcalde MP, Vivacqua-Gomes N, Bramante CM, Vivan RR, Duarte MAH, et al. Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. *Int Endod J.* 2017; 22(6): 1-9.
31. Pedullà E, Savio FL, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, et al. Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. *J Endod.* 2016; 42(1): 156-9.
32. Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, Lusvarghi L, et al. Hyflex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi Rotary instruments. *Int Endod J.* 2016; 49(5): 483–93.

33. Iacono F, Pirani C, Generali L, Bolelli G, Sassatelli P, Lusvarghi L, et al. Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *Int Endod J.* 2017; 50(3): 303-13.
34. De Menezes SEAC, Batista SM, Lira JOP, de Melo Monteiro GQ. Cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, ProDesign R and ProDesign logic files in curved canals in vitro. *Iran Endod J.* 2017; 12(4): 468-43.
35. De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the reciproc files. *J Endod.* 2017; 43(3): 462-6.
36. Leonardo M, Leonardo RT. Tratamento de canais radiculares: avanços tecnológicos de uma endodontia minimamente invasiva e reparadora. São Paulo: Artes Médicas 2012.
37. Lopes HP, Siqueira JR. JF. Endodontia biologia e técnica. 3° ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 2013.
38. Taşdemir T, Er K, Yildirim T, Buruk K, Çelik D, Cora S, Serper A. Comparison of the sealing ability of three filling techniques in canals shaped with two different rotary systems: a bacterial leakage study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.* 2009; 108(3): e129-e134.
39. Cavenago BC, Duarte MAH, Ordinola-Zapata R, Marciano MA, Carpio-Perochena AED, Bramante CM. Interfacial adaptation of an epoxy-resin sealer and a self-etch sealer to root canal dentin using the System B or the single cone technique. *Braz Dent J.* 2012; 23: 205-11.
40. Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XJ. Influence of warm vertical compaction technique on physical properties of root canal sealers. *J Endod.* 2016; 42(12): 1829-33.
41. Almeida LHS, Moraes RR, Morgental RD, Pappen FG. Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *J Endod.* 2017; 43(4): 527-35.
42. Peng L, Ye L, Tan H, Zhou X. Outcome of root canal obturation by warm gutta-percha versus cold lateral condensation: a meta-analysis. *J Endod.* 2007; 33(2): 106-9.
43. Camilleri J. Staining potential of Neo MTA Plus, MTA Plus and Biodentine used for pulpotomy procedures. *J Endod.* 2015; 41(7): 1139-45.
44. Tanomaru-Filho M, Andrade AS, Rodrigues EM, Viola KS, Faria G, Camilleri J, et al. Biocompatibility and mineralized nodule formation of Neo MTA Plus and an experimental tricalcium silicate cement containing tantalum oxide. *Int Endod J* 2017; 50: 31-9.

45. Zordan-Bronzel CL, Esteves Torres FF, Tanomaru-Filho M, Chávez-Andrade GM, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM. Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate-based sealer, Bio-c Sealer. *J Endod.* 2019; 45(10): 1248-52.
46. Torres FFE, Zordan-Bronzel CL, Guerreiro-Tanomaru JM, Chávez-Andrade GM, Pinto JC, Tanomaru-Filho M. Effect of immersion in distilled water or phosphate-buffered saline on the solubility, volumetric change and presence of voids within new calcium silicate-based root canal sealers. *Int Endod J.* 2020 ; 53(3): 38-391.
47. Ho ES, Chang JW, Cheung GS. Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. *Restorative Dentistry & Endodontics.* 2016; 41(10): 22-8.
48. Iglecias EF, Freire LG, de Miranda Candeiro GT. Dos Santos M, Antoniazzi JH, Gavini G. Presence of voids after continuous wave of condensation and single-cone obturation in mandibular molars: A micro-computed tomography analysis. *J Endod.* 2017; 43(4), 638-42.
49. Oh S, Perinpanayagam H, Kum DJ, Lim SM, Yoo YJ, Chang SW, et al. Evaluation of three obturation techniques in the apical third of mandibular first molar mesial root canals using micro-computed tomography. *Journal of Dental Sciences.* 2016; 11(1): 95-102.
50. Keleş A, Alcin H, Kamalak A, Versiani MA. Micro-CT evaluation of root filling quality in oval-shaped canals. *Int Endod J.* 2014; 47(12):1177-84.
51. Zogheib C, Naaman A, Sigurdsson A, Medioni E, Bourbouze G, Arbab-Chirani R. Comparative micro-computed tomographic evaluation of two carrier-based obturation systems. *Clin Oral Investig.* 2013; 17(8): 1879-83.
52. Zaslansky P, Fratzi P, Rack A, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Identification of root filling interfaces by microscopy and tomography methods. *Int Endod J.* 2011; 44(5): 395-401.
53. Kierklo A, Tabor Z, Pawińska M, Jaworska M. A microcomputed tomography-based comparison of root canal filling quality following different instrumentation and obturation techniques. *Med princ pract.* 2015; 24(1) :84-91.
54. Torabinejad M, Walton RE. *Endodontia: Princípios e Prática.* 4° Ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, 474 p. 1 v. p. 203-211 e 334-335, ISBN 978-85-352-34444-2.
55. Zuolo AS, Mello JE Jr, Cunha RS, Zuolo ML, Bueno CE. Efficacy of reciprocating and rotary techniques for removing filling material during root canal retreatment. *Int Endod J.* 2013; 46(10): 947–53.

56. Rios M de A, Villela AM, Cunha RS, Velasco RC, De Martin AS, Kato AS, et al. Efficacy of 2 reciprocating systems compared with a rotary retreatment system for gutta-percha removal. *J Endod.* 2014; 40(4): 543–6.
57. Elnaghy AM, Mandorah A, Elsaka SE. Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology.* 2017; 105(2):
58. Alves FR, Marceliano-Alves MF, Sousa JCN, Silveira B, Provenzano JC, Siqueira Jr JF. Removal of root canal fillings in curved canals using either reciprocating single-or rotary multi-instrument systems and a supplementary step with the XP-Endo Finisher. *J Endod.* 2016; 42(7): 1114-9.
59. Rödiger T, Hausdorfer T, Konietzschke F, Dullin C, Hahn W, Hülsmann M. Efficacy of D-RaCe and ProTaper Universal Retreatment NiTi instruments and hand files in removing gutta-percha from curved root canals: a micro-computed tomography study. *Int Endod J.* 2012; 45(6): 580–9.
60. Bernardes RA, Duarte MA, Vivian RR, Alcalde MP, Vasconcelos BC, Bramante CM. Comparison of three retreatment techniques with ultrasonic activation in flattened canals using micro-computed tomography and scanning electron microscopy. *Int Endod J.* 2016; 49(9): 890-7.
61. Rodrigues CT, Duarte MAH, de Almeida MM, de Andrade FB, Bernardineli N. Efficacy of CM-Wire, M-Wire, and Nickel-Titanium Instruments for Removing Filling Material from Curved Root Canals: A Micro-Computed Tomography Study. *J Endod.* 2016; 42(11): 1651-5.
62. Silveira SB, Alves FR, Marceliano-Alves MF, Sousa JCN, Vieira VT, Siqueira Jr JF, et al. Removal of root canal fillings in curved canals using either Mani GPR or HyFlex NT followed by passive ultrasonic irrigation. *J Endod.* 2018; 44(2), 299-303.
63. Djomehri SI, Candell S, Case T, Browning A, Marshall GW, Yun W, Lau SH, Webb S, Ho SP. Mineral density volume gradients in normal and diseased human tissues. *PLoS One.* 2019; 10(4): e0121611.
64. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J.* 2005; 38(9): 617-26.
65. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J.* 2007; 40(10): 818-30.
66. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod.* 2007; 33(9): 1121-32.

67. Vizzotto MB, Silveira PF, Arús NA, Montagner F, Gomes BP, da Silveira HE. CBCT for the assessment of second mesiobuccal (MB2) canals in maxillary molar teeth: effect of voxel size and presence of root filling. *Int Endod J.* 2013; 46(9): 870-6.
68. Nascimento EHL, Abrahão Elias MR, Vasconcelos VHF, Haiter-Neto F, Mendonça EF, Sousa TO. Ex Vivo Detection of Apical Delta in Premolars: A Comparative Study Using Periapical Radiography, Cone-beam Computed Tomography, and Micro-computed Tomography. *J Endod.* 2019; 45(5): 549-53.
69. Sousa TO, Hassan B, Mirmohammadi H, Shemesh H, Haiter-Neto F. Feasibility of cone-beam computed tomography in detecting lateral canals before and after root canal treatment: an ex vivo study. *J Endod.* 2017; 43(6): 1014-7.
70. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *J Endod.* 2010; 36(1): 126-9.
71. Khedmat S, Rouhi N, Drage N, Shokouhinejad N, Nekoofar MH. Evaluation of three imaging techniques for the detection of vertical root fractures in the absence and presence of gutta-percha root fillings. *Int Endod J.* 2012; 45(11): 1004-9.
72. Melo SL, Bortoluzzi EA, Abreu M, Corrêa LR, Corrêa M. Diagnostic ability of a cone-beam computed tomography scan to assess longitudinal root fractures in prosthetically treated teeth. *J Endod.* 2010; 36(11): 1879-82.
73. Codari M, de Faria Vasconcelos K, Ferreira Pinheiro Nicolielo L, Haiter Neto F, Jacobs R. Quantitative evaluation of metal artifacts using different CBCT devices, high-density materials and field of views. *Clin Oral Implants Res.* 2017; 28(12): 1509-14.
74. Srivastava S, Alrogaibah NA, Aljarbou G. Cone-beam computed tomographic analysis of middle mesial canals and isthmus in mesial roots of mandibular first molars-prevalence and related factors. *J Conserv Dent.* 2018; 21(5): 526-30.
75. Rashed B, Iino Y, Komatsu K, Nishijo M, Hanada T, Ebihara A, et al. Evaluation of root canal anatomy of maxillary premolars using swept-source optical coherence tomography in comparison with dental operating microscope and cone beam computed tomography. *Photomed Laser Surg.* 2018; 36(9): 487-92.
76. Guo XL, Li G, Zheng JQ, Ma RH, Liu FC, Yuan FS, et al. Accuracy of detecting vertical root fractures in non-root filled teeth using cone beam computed tomography: effect of voxel size and fracture width. *Int Endod J.* 2019; 52(6): 887-98.
77. Ma RH, Ge ZP, Li G. Detection accuracy of root fractures in cone-beam computed tomography images: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2016; 49(7): 646-54.

78. Corbella S, Del Fabbro M, Tamse A, Rosen E, Tsisis I, Taschieri S. Cone beam computed tomography for the diagnosis of vertical root fractures: a systematic review of the literature and meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2014; 118(5): 593-602.
79. Kambungton J, Janhom A, Prapayasadok S, Pongsiriwet S. Assessment of vertical root fractures using three imaging modalities: cone beam CT, intraoral digital radiography and film. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41(2): 91-5.
80. Patel S, Brady E, Wilson R, Brown J, Mannocci F. The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *Int Endod J.* 2013; 46(12): 1140-52.
81. Jacobs R. Dental cone beam CT and its justified use in oral health care. *JBR-BTR.* 2011; 94(5): 254-65.
82. Jacobs R, Salmon B, Codari M, Hassan B, Bornstein MM. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health.* 2018; 18(1): 88.
83. Ma RH, Ge ZP, Li G. Detection accuracy of root fractures in cone-beam computed tomography images: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2016; 49(7): 646-54.
84. Kambungton J, Janhom A, Prapayasadok S, Pongsiriwet S. Assessment of vertical root fractures using three imaging modalities: cone beam CT, intraoral digital radiography and film. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41(2): 91-5.
85. Patel S, Brady E, Wilson R, Brown J, Mannocci F. The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *Int Endod J.* 2013; 46(12):1140-52.
86. Gaêta-Araujo H, Alzoubi T, Vasconcelos KF, Orhan K, Pauwels R, Casselman JW, et al. Cone beam computed tomography in dentomaxillofacial radiology: a two-decade overview. *Dentomaxillofac Radiol.* 2020; 49(8): 20200145.
87. Pauwels R, Stamatakis H, Bosmans H, Bogaerts R, Jacobs R, Horner K, et al. Quantification of metal artifacts on cone beam computed tomography images. *Clin Oral Implants Res.* 2013; 24: 94-9.
88. Patel S, Brown J, Pimentel T, Kelly RD, Abella F, Durack C. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review of the literature. *Int Endod J.* 2019; 52(8): 1138-52.
89. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F. European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. *Int Endod J.* 2019; 52(12): 1675-8.

90. Guo XL, Li G, Zheng JQ, Ma RH, Liu FC, Yuan FS, et al. Accuracy of detecting vertical root fractures in non-root filled teeth using cone beam computed tomography: effect of voxel size and fracture width. *Int Endod J.* 2019; 52(6): 887-98.
91. Heckel F, Meine H, Moltz JH, Kuhnigk JM, Heverhagen JT, Kießling A, et al. Segmentation-based partial volume correction for volume estimation of solid lesions in CT. *Trans Med Imaging.* 2013; 33(2): 462-80
92. Elashiry MM, Saber SE, Elashry SH. Comparison of shaping ability of different single-file systems using microcomputed tomography. *Eur J Dent.* 2010; 14(1): 70-6.
93. Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YC, Mazzi-Chaves JF, Carvalho KKT, Barbosa AFS, Versiani MA, et al. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Braz Oral Res.* 2018; 32(1): e66.
94. Aksoy C, Keris EY, Yaman SD, Ocak M, Geneci F, Celik HH. Evaluation of XP-Endo Shaper, Reciproc Blue, and Protaper Universal NiTi systems on dentinal microcrack formation using micro-computed tomography. *J Endod.* 2019; 45(3): 338-42.
95. Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, Lusvarghi L, et al. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2016; 49(5): 483-93.
96. Iacono F, Pirani C, Generali L, Bolelli G, Sassatelli P, Lusvarghi L, et al. Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *Int Endod J.* 2017; 50(3): 303-13.
97. Siqueira JF, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* 2018; 34(11): 1291-301.
98. Pinto JC, Pivoto-João MMB, Espir CG, Ramos MLG, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Micro-CT evaluation of apical enlargement of molar root canals using rotary or reciprocating heat-treated NiTi instruments. *J Appl Oral Sci.* 2019; 27.
99. Pivoto-João MMB, Tanomaru-Filho M, Pinto JC, Espir CG, Guerreiro-Tanomaru JM. Root canal preparation and enlargement using thermally treated nickel-titanium rotary systems in curved canals. *J Endod.* 2020; 46(11): 1758-65.
100. Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT. The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *Int Endod J.* 2005; 38(5): 285-90

101. Mendonça DH, Colucci V, Rached-Junior FJ, Miranda CE, Silva-Sousa YT, Silva SR. Effects of various irrigation/aspiration protocols on cleaning of flattened root canals. *Braz Oral Res.* 2015; 29(1): 1-9.
102. Yaylali IE, Teke A, Tunca YM. The effect of foraminal enlargement of necrotic teeth with a continuous rotary system on postoperative pain: a randomized controlled trial. *J Endod.* 2017; 43(3): 359-63.
103. Borlina SC, de Souza V, Holland R, Murata SS, Gomes-Filho JE, Junior ED, et al. Influence of apical foramen widening and sealer on the healing of chronic periapical lesions induced in dogs' teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010; 109(60): 932-40.
104. de Souza Filho FJ, Benatti O, de Almeida OP. Influence of the enlargement of the apical foramen in periapical repair of contaminated teeth of dog. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1987; 64(4): 480-4.
105. Brandão PM, de Figueiredo JAP, Morgental RD, Scarparo RK, Hartmann RC, Waltrick SBG, et al. Correction to: Influence of foraminal enlargement on the healing of periapical lesions in rat molars. *Clin Oral Investig.* 2019; 23(4): 2001-3.
106. Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine against bacteria in biofilms at different stages of development. *J Endod.* 2011; 37(5): 657-661.
107. Vieira MLO, Dantas HV, de Sousa FB, Salazar-Silva JR, Silva EJM L, Batista AUD, et al. Morphologic changes of apical foramen and microcrack formation after foraminal enlargement: a scanning electron microscopic and micro-computed tomographic analysis. *J Endod.* 2020; 46(11): 1726-32.
108. Aktemur Türker S, Uzunoğlu Özyürek E, Tek V. The effect of different obturation methods on sealer penetration alongside apically separated rotary nickel-titanium instruments: A confocal laser scanning microscopy study. *Microscopy Research and Technique.* 2020; 83(6): 720-6.
109. Alves Silva EC, Tanomaru-Filho, M, da Silva GF, Delfino MM, Cerri, PS, Guerreiro-Tanomaru JM. Biocompatibility and bioactive potential of new calcium silicate-based endodontic sealers: Bio-C Sealer and Sealer Plus BC. *J Endod.* 2020; 46(10): 1470-7.
110. Sanz JL, Lopez-Garcia S, Lozano A, Pecci-Lloret MP, Llana C, Guerrero-Girones J, Forner L. Microstructural composition, ion release, and bioactive potential of new premixed calcium silicate-based endodontic sealers indicated for warm vertical compaction technique. *J Endod.* 2020; 46(10): 1470-7.

111. Zordan-Bronzel CL, Esteves Torres FF, Tanomaru-Filho M, Chávez-Andrade GM, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM. Evaluation of Physicochemical Properties of a New Calcium Silicate-based Sealer, Bio-C Sealer. *J Endod.* 2019; 45(10): 1248-52.
112. Pinto JC, Torres FFE, Santos Junior AO, Tavares KIMC, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Influence of voxel size on micro-CT analysis of debris after root canal preparation. *Braz Oral Res.* 2020; 35: e008.
113. Orhan K, Jacobs R, Celikten B, Huang Y, de Faria Vasconcelos K, Nicolielo LFP, Buyuksungur A, Van Dessel J. Evaluation of threshold values for root canal filling voids in micro-ct and nano-ct images. *Scanning.* 2018 16; 2018:9437569.
114. Bouxsein ML, Boyd SK, Christiansen BA, Guldberg RE, Jepsen KJ, Muller R. Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography. *J Bone Miner Res.* 2010; 25(7): 1468-86.
115. Schulze RK, Berndt D, d'Hoedt B. On cone-beam computed tomography artifacts induced by titanium implants. *Clin Oral Implants Res.* 2010; 21(1): 100-7.
116. Zhang L, Wang T, Cao Y, Wang C, Tan B, Tang X, Tan R, Lin Z. In Vivo Detection of Subtle Vertical Root Fracture in Endodontically Treated Teeth by Cone-beam Computed Tomography. *J Endod.* 2019; 45(7): 856-62.