



UFG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

GABRIELA SOARES COUTO

**Posição do forame apical em imagens de tomografia
computadorizada de feixe cônico na dentição permanente
humana**

**Goiânia
2017**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS
DE TESES E
DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: **Gabriela Soares Couto**

Título do trabalho: **Posição do forame apical em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico na dentição permanente humana**

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento **SIM** **NÃO**¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 27 / 06 / 19

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:
- Solicitação de registro de patente
- Submissão de artigo em revista científica
- Publicação como capítulo de livro
- Publicação da dissertação/tese em livro

²A assinatura deve ser escaneada.



UFG

GABRIELA SOARES COUTO

**Posição do forame apical em imagens de tomografia
computadorizada de feixe cônico na dentição permanente
humana**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

Linha de Pesquisa: Aspectos Clínicos e Laboratoriais das Doenças Transmissíveis e Não Transmissíveis.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estrela

**Goiânia
2017**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

SOARES COUTO, GABRIELA

Posição do forame apical em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico na dentição permanente humana [manuscrito] / GABRIELA SOARES COUTO. - 2017.
LXV, 65 f.: il.

Orientador: Prof. CARLOS ESTRELA.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Medicina (FM), Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Goiânia, 2017.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

1. Anatomy. 2. root canal. 3. root canal morphology. 4. root. 5. cone beam computed tomography. I. ESTRELA, CARLOS, orient. II. Título.

CDU 616.314

PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS DA SAÚDE
FACULDADE DE MEDICINA - FM



Ata de **Defesa de Dissertação de Mestrado** realizada por **Gabriela Soares Couto**. Ao quinto dia do mês de dezembro de 2017, às 09:00 horas, reuniu-se na Sala 1004 da Faculdade de Odontologia/UFG, a Comissão Julgadora infra nomeada para proceder ao julgamento da Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada "**Posição do forame apical em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico na dentição permanente humana**", como parte de requisitos necessários à obtenção do **título de Mestre**, área de concentração **Dinâmica do Processo Saúde-Doença**. O Presidente da Comissão julgadora, **Prof. Dr. Carlos Estrela**, iniciando os trabalhos concedeu a palavra a candidata, para exposição em até **50 minutos** do seu trabalho. A seguir, o senhor Presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos Examinadores, os quais passaram a arguir a candidata durante o prazo máximo de 30 minutos, assegurando-se a mesma igual prazo para responder aos Senhores Examinadores. Ultimada a arguição que se desenvolveu nos termos regimentais, a Comissão, em sessão secreta, expressou seu Julgamento, considerando a candidata aprovado(a) ou reprovado(a).

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Estrela - Presidente
Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora - Membro
Prof. Dr. Daniel Almeida Decúrcio - Membro
Profa. Dra. Ana Helena Gonçalves Alencar - Suplente

Aprovado(a)/Reprovado(a)

Carlos Estrela
APROVADA
APROVADA

Em face do resultado obtido, a Comissão Julgadora considerou a candidata **Gabriela Soares Couto** () Habilitada () Não habilitada. Nada mais havendo a tratar, eu, **Prof. Dr. Carlos Estrela**, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme foi por todos assinada.

Assinatura:

Prof. Dr. Carlos Estrela - Presidente
Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora - Membro
Prof. Dr. Daniel Almeida Decúrcio - Membro
Profa. Dra. Ana Helena Gonçalves Alencar - Suplente

Carlos Estrela

A banca examinadora aprovou a seguinte alteração no título da Dissertação:

Gabriela Soares Couto

Gabriela Soares Couto

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aluna: Gabriela Soares Couto

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estrela

Membros:

1. Prof. Dr. Carlos Estrela (Presidente)

2. Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora

3. Prof. Dr. Daniel de Almeida Decúrcio

Suplente:

1. Profa. Dra. Ana Helena G Alencar

Dedico este trabalho ...

Ao meu esposo Olavo e minha querida filha Helena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida.

Aos meus Pais, Ivo e Luci, por terem incentivado tantos meus estudos e fonte de todos os meus valores.

Ao meu esposo Olavo, meu maior motivador e incentivador do início ao fim desta jornada, a quem tenho admiração e orgulho.

À minha irmã Lílian pela parceria da vida e de mestrado. A Dinda pela inspiração e exemplo de mestre e pessoa. Aos demais familiares pela força e incentivo.

Agradeço a Universidade Federal de Goiás (UFG) por oferecer Infraestrutura e recursos humanos para o desenvolvimento científico.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo da pesquisa.

Agradeço ao Centro Integrado de Radiodontologia de Goiânia (CIRO) por proporcionar o desenvolvimento deste projeto disponibilizando estrutura, aparelhos e recursos humanos para obtenção e processamento das imagens tomográficas.

A todos os professores e colegas de pós-graduação e em especial da equipe de endodontia desta universidade que proporcionaram uma relação saudável e enriquecedora.

Em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Estrela, um grande exemplo de dedicação à ciência e a família, pela oportunidade de orientação e confiança a mim creditada.

E a todos aqueles que direta e indiretamente que de alguma forma contribuíram e acrescentaram na minha formação.

*“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim
a caminhada. Caminhando e semeando, no fim
terás o que colher.”*

(Cora Coralina)

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

TABELAS, FIGURAS E GRÁFICOS

ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO.....	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Tipo de estudo.....	17
3.2. Seleção da amostra	17
3.2.1. Cálculo da amostra	17
3.2.2. Critérios de inclusão	18
3.2.3. Aquisição das imagens.....	18
3.2.4. Detecção da posição do forame apical	18
3.3. Análise estatística	24
4. RESULTADOS	25
5. DISCUSSÃO	29
6. CONCLUSÕES	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXO	40
APÊNDICE 1	42
APÊNDICE 2	44
APÊNDICE 3	45

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar a posição do forame apical (FA) em relação às superfícies radiculares proximais em dentes permanentes humanos usando imagens de tomografia computadorizada de feixe de cônico (TCFC). Foi selecionada uma amostra de 1.400 dentes de exames de TCFC de 422 pacientes (394 mulheres, idade média de 44,46). A determinação da posição do forame apical em relação às superfícies radiculares proximais foi realizada em cortes axiais de 0,1 mm / 0,1 mm em imagens TCFC, a partir do orifício inicial da câmara coronária até o ápice radicular. Os dados foram registrados em categorias correspondentes às superfícies radiculares: 1. vestibular; 2. mesiovestibular; 3. mesial; 4. mesiolingual / palatal; 5. lingual / palatal; 6. distolingual / palatal; 7. distovestibular; 8. central. Empregou-se estatística descritiva para a análise dos dados amostrais. As variáveis categóricas foram descritas por frequência e porcentagem (Microsoft Excel para Windows 2013; Redmond, Washington, EUA). As maiores frequências (60%, 53% e 49,52%) em posição central do forame apical foram encontradas nos incisivos centrais, laterais superiores e raízes vestibulares do segundo pré-molares inferiores. A posição do forame apical mais frequentemente encontrada nos incisivos centrais inferiores foi vestibular (35,48%), seguida da posição central (30,64%). A posição distal (31%) do forame apical foi a segunda maior frequência verificada nos incisivos laterais superiores. Nos segundos pré-molares superiores, o canal radicular vestibular e mesiovestibular apresentaram maior frequência (27,51%) de forame apical na posição central, seguido da posição mesial. No segundo molar superior a maior frequência de forame na posição central foi encontrada na raiz mesiovestibular (20,25%), e no primeiro molar inferior, a raiz mesiovestibular foi a que apresentou maior frequência (18,80%). A posição central do forame apical nos dentes permanentes humanos apresentou uma frequência de 51,15% e 48,85% nos dentes superiores e inferiores, respectivamente. A determinação da posição do forame apical em imagens de TCFC usando estratégia de navegação representa um método dinâmico e não destrutivo e favorece a identificação da posição do forame apical.

Palavras-chave: Anatomia, canal radicular, morfologia do canal radicular, raiz, tomografia computadorizada de feixe cônico.

ABSTRACT

Aim: This study determined the apical foramen position in relation of root surfaces in human permanent teeth using cone beam computed tomography (CBCT) images. **Methods:** It was selected a sample of 1,400 teeth from CBCT scans of 422 patients (394 women; 44.46 mean age-years). AF position in relation of root surfaces was determined longitudinally on 0.1-mm/0.1-mm axial slices of CBCT images, from the pulp orifice to the root apex. The findings were recorded into categories: 1. buccal; 2. mesiobuccal; 3. mesial; 4. mesiolingual/palatal; 5. lingual/palatal; 6. distolingual/palatal; 7. distobuccal; 8. central. Analysis of the data used in the statistical classification. Categorical variables were described by frequency and percentage. A statistical analysis of the data was performed without the Microsoft Excel program for Windows 2013 (Redmond, Washington, USA). **Results:** The position of the apical foramen most frequently found in the lower central incisors was vestibular (35.48%), followed by the central position (30.64%). The distal position (31%) of the apical foramen was the second highest frequency seen in the maxillary lateral incisors. In the upper second premolars, the buccal and mesiobuccal root canal presented a higher frequency (27.51%) of the apical foramen in the central position, followed by the mesial position. In the second maxillary molar the greater foramen frequency in the central position was found in the mesiobuccal root (20.25%), and in the lower first molar, the mesiobuccal root was the one with the highest frequency (18.80%). **Conclusions:** AF position in human permanent teeth was central in 51.15% and 48.85% in maxillary and mandibular teeth, respectively. The CBCT and the strategies of longitudinal map-reading represent a dynamic and nondestructive method and improve to identify the AF position.

Keywords: Anatomy, root canal, root canal morphology, root, cone beam computed tomography.

TABELAS, FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1. Representação da posição do forame apical de acordo com as faces radiculares (vestibular, mesial, lingual/palatal, distal, central, mesiovestibular, distovestibular, mesiolingual/palatal, distolingual/palatal).	21
Figura 2. Representação da dinâmica de navegação na imagem de TCFC para raiz mesial do primeiro molar inferior.	23
Figura 3. Representação da posição do forame apical de acordo com as faces radiculares.....	24
Tabela 1 – Distribuição da frequência e porcentagem do número de raízes, canais radiculares e posição dos forames apicais na dentição permanente humana na arcada superior.	28
Tabela 2 – Distribuição da frequência e porcentagem do número de raízes, canais radiculares e posição dos forames apicais na dentição permanente humana na arcada inferior.	29

ABREVIATURAS

CA	Califórnia
CCD	Dispositivo de carga acoplada (Charge Coupled Device)
D	Distal
EUA	Estados Unidos da América
FOV	Campo de visão (Field of View)
GO	Goiás
IR	Istmo radicular
KVP	Kilovoltagem de potência
L	Lingual
Ma	Miliampère
MCT	Microtomografia computadorizada
M	Mesial
mm	Milímetro
NV	Não visualizado
p	Nível de significância
P	Palatal
PCR	Preparo do canal radicular
PSP	Placa de fósforo foto-estimulada
RP	Radiografia periapical
SCR	Sistema de canais radiculares
TCFC	Tomografia computadorizada de feixe cônico
V	Vestibular
WA	Washington

1. INTRODUÇÃO

O fracasso do tratamento do canal radicular está associado à ausência de conhecimento e ao domínio clínico da morfologia do sistema radicular (Peters *et al.*, 2004; Estrela *et al.*, 2017). A morfologia da anatomia interna pode apresentar formas que dificultam o acesso dos instrumentos durante a preparação do canal radicular e esse fato pode afetar a qualidade do controle bacteriano e a sua obturação (Peters *et al.*, 2004, Vertucci, 1984).

A micromorfologia da região apical do canal radicular e dos tecidos periapicais adjacentes caracterizam-se por complexa área anatômica, o que impõe diferentes graus de dificuldades operatórias, as quais facilitam as bactérias se protegerem como comunidades em biofilmes, enquanto que, o acesso pleno dos instrumentos e estratégias de limpeza mostra-se limitado (Peters, 2004, Vertucci & Haddix, 2010). A preparação do limite apical e a obturação devem ser bem estabelecidas, uma vez que não tem sido recomendado ultrapassar a junção cimento-dentina-canal, pois representa uma referência de segurança ao processo de reparação tecidual (Gutmann & Fan, 2016, Holland *et al.*, 2017).

A junção cimento-dentina representa um ponto anatômico que o cimento encontra à dentina. Perto desta referência é encontrada a constrição apical (menor diâmetro apical), considerada uma referência apical para concluir a preparação e a obturação do canal radicular. O forame apical corresponde à abertura final do canal radicular em nível de terço apical (na superfície externa da raiz dental), por onde os vasos e fibras nervosas estabelecem uma comunicação entre o tecido pulpar e o ligamento periodontal. Um aspecto clínico de importância em sua localização, é que nem sempre ocorre coincidência entre forame apical e o vértice apical radicular. A localização exata da junção cimento-dentina determinada por radiografia periapical

apresenta limitações (Grossman 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer, 1988; Ponce & Fernández, 2003; Cleghorn *et al.*, 2013).

A localização da junção cimento-dentina-canal, os diâmetros do forame apical e o canal radicular na junção cimento-dentina-canal nos dentes anteriores superiores foram avaliados histologicamente por Ponce & Fernandez (2003). A junção cimento-dentina-canal relaciona-se simplesmente ao ponto em que esses dois tecidos convergem para dentro do canal radicular, suscetíveis à modificação dependendo de cada situação clínica e nas extensões variáveis do cimento dentro do canal radicular; a constrição apical e o forame apical não são referências anatômicas confiáveis para as preparações do limite apical. O uso deles como referência ou de batente apical pode resultar na indução de lesões nos tecidos apical e periapical.

Uma longa porção dentinária cônica e uma pequena porção de cimento em forma de funil formam os vértices das raízes. A porção de cimento apresenta uma forma de um cone invertido com seu diâmetro mais estreito mais perto da junção cimento-dentina (Kutler, 1955). Kuttler (1955) relatou que a distância entre a junção cimento-dentina e o forame apical era em média de 0,507 mm em jovens e 0,784 mm em pessoas mais velhas. Burch & Hullen (1972) relataram que em 92,3% dos dentes estudados (877) o forame apical se abriu antes do limite apical. A distância média do limite radiográfico para o forame apical foi de 0,59 mm. O centro do ápice da raiz nunca coincide com o forame apical. Dummer *et al.* (1984) estudaram a posição e a topografia da constrição do canal apical e do forame apical. Os resultados mostraram que é impossível, estabelecer a posição da constrição apical durante o tratamento do canal radicular.

A micromorfologia do canal radicular (número de raízes, canais radiculares,

forames apicais, istmos, ramificações, curvaturas radiculares, distúrbios do desenvolvimento) foram descritos por diferentes métodos, como o uso de radiografia periapical, corte vertical e transversal, limpeza e coloração, estereomicroscopia, microscopia cirúrgica, microscopia de dissecação, moldagens de plástico, microscopia eletrônica de varredura, tomografia computadorizada de feixe cônico (CTFC) e microtomografia computadorizada. Entre os métodos descritos, incluem metodologias destrutivas e não destrutivas (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Burch & Hulen, 1972; Grossman , 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer 1988; Stein & Corcoran, 1990; Ponce & Fernández, 2003; Marroquin *et al.*, 2004; Baratto-Filho *et al.* , 2009; Michetti *et al.* , 2010; Versiani *et al.*, 2012; Cleghorn *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015; Gutmann & Fan, 2016; Holland *et al.*, 2017).

As imagens dos canais radiculares e região periapical são indispensáveis antes, durante e após o tratamento endodôntico, uma vez que o sucesso é dependente do correto planejamento e diagnóstico (Estrela *et al.*, 2017). É do conhecimento comum as limitações que as radiografias periapicais mostram do complexo anatômico interno do canal radicular, em especial da topografia e posição do forame apical (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Burch & Hulen, 1972; Grossman , 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer 1988; Stein & Corcoran, 1990; Ponce & Fernández, 2003; Marroquin *et al.*, 2004; Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Cleghorn *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015a,b, 2017; Gutmann & Fan, 2016). Gradativamente a TCFC tem sido incorporada aos procedimentos na clínica endodôntica, devido a precisão na identificação de estruturas anatômicas e lesões periapicais muitas vezes ocultas pelas radiografias periapicais (Estrela *et al.*, 2015a,b; Cotton *et al.*, 2007; Scarfe *et al.*, 2007; Bueno *et al.*, 2011), e também, respeitando as indicações propostas pela Associação Americana de Endodontia

baseado na resolução efetiva e condições clínicas complexas (American Association of Endodontists, 2015).

O conhecimento da localização do forame apical em relação às superfícies da raiz pode evitar desagradáveis complicações, como erros de procedimentos operatórios, que fazem parte de fatores de riscos aos fracassos do tratamento do canal radicular (Estrela *et al.*, 2017). O forame apical pode abrir nas superfícies mesial, distal, vestibular ou lingual/palatal da raiz, ou estar central, pouco antes do vértice apical, ao invés de abrir no próprio ápice (Grossman, 1976; Dummer *et al.*, 1984). Baseado na carência de informações clínicas quanto à posição precisa do forame apical em relação às superfícies radiculares, novas informações usando a estratégia de navegação multidimensional e em modelo in vivo desta estrutura anatômica podem trazer benefícios para prática clínica. Este estudo determinou a posição do forame apical em relação às superfícies radiculares em dentes permanentes humanos usando imagens de tomografia computadorizada com feixe de cônico (TCFC).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Estudar a posição do forame apical em relação às superfícies radiculares em dentes permanentes humanos usando imagens de tomografia computadorizada com feixe de cônico.

2.2. Objetivos Específicos

Determinar a frequência da posição do forame apical em relação às superfícies radiculares em dentes permanentes humanos usando imagens de tomografia computadorizada com feixe de cônico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Tipo de estudo

Estudo transversal por meio de avaliação de imagens de exames de tomografia computadorizada de feixe cônico realizado durante os meses de janeiro de 2012 a abril 2017. Por se tratar de um estudo retrospectivo para análise de exames de TCFC registrados em um banco de dados secundário, solicitou-se a dispensa do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Foram utilizadas imagens anonimizadas a fim de preservar a identidade do sujeito e firmado o termo de uso de banco de dados. Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás.

3.2. Seleção da amostra

3.2.1. Cálculo da amostra

O cálculo da amostra foi realizado com base em estudo piloto que permitiu visualizar 90% das posições dos forames apicais, variando 8% para mais ou para menos, dependendo da raiz dentária avaliada. Com o nível de significância de 5% seria necessário uma amostra de 54 raízes para cada grupo avaliado, totalizando 756 dentes. Nesse estudo optou-se por uma amostra de 1400 dentes, conseqüentemente menor margem de erro e maior confiabilidade dos resultados.

O estudo foi delineado usando bancos de dados de um centro de radiologia odontológica em Goiânia-GO (Unidade Radiodontológica de Goiânia Ltda., Goiânia, GO, Brasil). Os pacientes foram encaminhados para o serviço de radiologia odontológica por diversos fins de diagnóstico. Uma amostra de 1400 dentes foi selecionada a partir de exames tomográficos pacientes realizados entre janeiro de 2012 e abril 2017 com idade variando de 11 a 81 anos.

3.2.2. Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão para selecionar as imagens em TCFC foram: ausência de tratamento de canal; coroas e pinos protéticos; sem canais radiculares calcificados; sem reabsorções radiculares externa ou interna; ápice completamente formado; sem tratamento ortodôntico, sem distúrbios de desenvolvimento e ausência de processos patológicos. Terceiros molares foram excluídos. Somente as imagens de alta resolução foram incluídas para garantir que a análise fosse precisa.

3.2.3. Aquisição das imagens

As imagens foram adquiridas utilizando um tomógrafo PreXion 3D Inc.(San Mateo, CA, EUA) configurado para a realização de uma imagem com voxel isotrópico de 0,100 mm em um F.O.V. de 60 mm de altura e 56,00 mm de diâmetro durante uma exposição de 33,5 segundos (com 1.024 exposições por aquisição). A tensão de tubo foi de 90 kVp e a corrente de 4 mA. As imagens foram analisadas por meio do software PreXion 3D Viewer (Tera ReconInc, Foster City,CA,EUA), em uma estação de trabalho PC com o Windows XP profissional SP - 2 (Microsoft Corp, Redmond , WA , EUA), com o processador Intel Core 2 Duo 1,86 Ghz -6300 (Intel Corp, Santa Clara,CA, EUA), placa de vídeo NVIDIA Ge Force 6200 turbo cache (NVIDIA Corporation, Santa Clara, CA, EUA) e com um monitor EIZO - Flexscan S2000, resolução de 1600x1200 pixels (EIZONANAO Corp, Hakusan).

3.2.4. Detecção da posição do forame apical

A posição do forame apical em relação as superfícies radiculares foi determinada axialmente por meio de cortes axiais, cororais e sagitais de 0,1 mm/0,1 mm de imagens de TCFC, da entrada do canal radicular até o forame apical (ápice da raiz), bem como da direção apical para a coroa. A estratégia de navegação em

imagens de TFCF foi de acordo com estudos prévios (Bueno *et al.*, 2011; Estrela *et al.*, 2015). A referência padrão para a posição do forame apical foi sempre correspondente ao canal radicular principal. Nos dentes com uma ou mais raízes foram analisados usando a navegação axial individualizada para cada raiz. Nos molares superiores, a navegação axial começou na raiz mesiovestibular e foi seguida pela análise de raízes distovestibulares e palatinas; Em molares inferiores, a navegação axial começou na raiz mesial, seguida da análise da raiz distal. Quando havia raízes bifurcadas, a navegação axial era concomitante nessas duas raízes. Quando era necessário, uma alternativa de visualização do forame apical era posicionar a imagem obliquamente. A determinação da posição do forame apical e sua frequência foram caracterizadas de acordo com as superfícies dos canais radiculares e os achados foram registrados em sete categorias: 1. vestibular; 2. mesiovestibular; 3. mesial; 4. mesiolingual / palatal; 5. lingual / palatal; 6. distolingual / palatal; 7. distovestibular; 8. central (Figura 1).

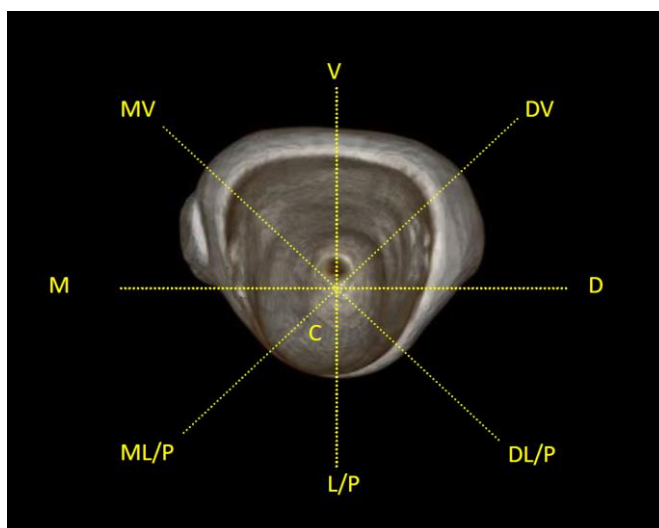


Figura 1. Representação da posição do forame apical de acordo com as faces radiculares (vestibular, mesial, lingual/palatal, distal, central, mesiovestibular, distovestibular, mesiolingual/palatal, distolingual/palatal).

Dois observadores, um endodontista e um radiologista, ambos com 10 ou mais anos de experiência analisaram todas as imagens. Os observadores foram calibrados avaliando 10% da amostra. Quando as diferenças foram encontradas, um consenso foi alcançado depois que a imagem foi discutida com um terceiro observador.

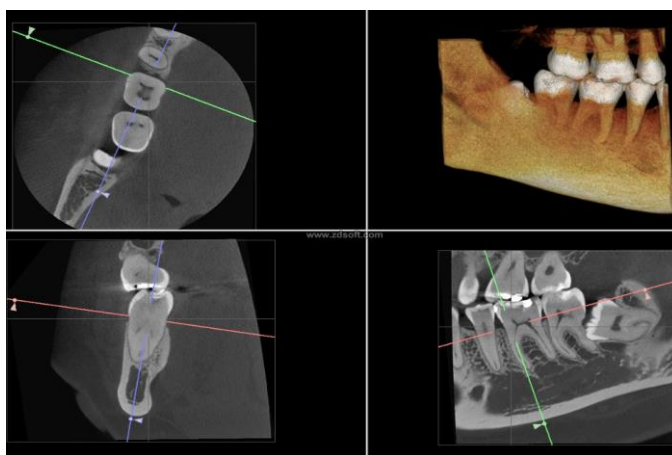


Figura 2. Representação da dinâmica de navegação na imagem de TCFC para raiz mesial do primeiro molar inferior.



Figura 3. Representação da posição do forame apical de acordo com as faces radiculares.

3.3. Análise estatística

Na análise dos dados correspondentes às posições dos forames apicais na dentição permanente humana empregou estatística descritiva. As variáveis categóricas foram descritas por frequência e porcentagem. A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o programa Microsoft Excel para Windows 2013 (Redmond, Washington, EUA).

4. RESULTADOS

A posição e a frequência do forame apical foram distribuídas nas tabelas 1 e 2.

Nos dentes anteriores superiores, a localização do forame apical foi mais freqüentemente encontrada na posição central (46% a 60%). Nos incisivos laterais superiores, a segunda maior freqüência verificada foi na posição distal, enquanto que, os incisivos e caninos centrais superiores apresentaram posição vestibular (17% e 26%, respectivamente). Nos incisivos centrais inferiores, a localização do forame apical mais freqüentemente encontrada (35,48%) foi à posição vestibular, após a posição central (30,64%). Nos incisivos laterais e caninos inferiores, a maior freqüência de localização do forame apical foi a posição central (39,55% e 34,57%, respectivamente), após a posição vestibular (17,91% e 21,49%, respectivamente) (Tabelas 1 e 2).

Os primeiros pré-molares superiores (Tabela 1), o canal radicular vestibular e o mesiovestibular apresentaram maior freqüência de forame apical (19,52%) na posição central, seguida de posição distal (10,95%). O canal radicular palatino apresentou maior freqüência (17,61%) de forame apical na posição central, seguido da posição palatina (9,52%). Os segundos pré-molares superiores os forames apicais apresentaram posições centrais em 27,51% do canal radicular vestibular, e em 12,08% na posição mesial. No canal radicular palatino, em 14,76% do forame apical foi encontrada na posição central e em 6,04% na posição distal. Os primeiros pré-molares inferiores (Tabela 2), os canais radiculares vestibulares e mesiovestibulares apresentaram maior freqüência de forame apical (40,33%) na posição central, seguida de posição distal (13,44%), posição mesial (11,76%) e posição bucal (8,40%). Os segundos pré-molares inferiores apresentaram uma

posição central do forame apical em 49,52% do canal radicular vestibular, seguido de 14,28% da posição distal.

Os primeiros molares superiores (Tabela 1) mostraram posição central do forame apical em 16,31%, 14,17% e 8,55% para canais radiculares mesiovestibular, distovestibular e palatino, respectivamente; Enquanto, os segundos molares superiores apresentaram 20,25%, 18,35% e 12,65% da posição central para os canais radiculares mesiovestibular, distovestibular e palatino, respectivamente. Os primeiros molares inferiores (Tabela 2) apresentaram posição central de forame apical em 18,80%, 17,86% e 10,34% para mesiovestibular, mesiolingual, e canal distal/distalvestibular respectivamente; Enquanto que os segundos molares inferiores apresentaram 13,26%, 11,46% e 7,52% da posição central para mesiovestibular, mesiolingual e distal e distovestibular, respectivamente.

A posição do forame apical na dentição permanente humana mostrou uma distribuição variada entre os canais radiculares com frequência inferior a 50% de posição central, exceto nos incisivos centrais e laterais superiores (60% e 53%, respectivamente)(Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - Distribuição da frequência e porcentagem do número de raízes, canais radiculares e posição dos forames apicais na dentição permanente humana na arcada superior.

Grupo dental (n=700)	Número de raízes (n=1.221)	Número de canais (n=1.349)	Canal	Frequência e (%)									
				C	M	MP	MV	D	DV	DP	P	V	NI
Incisivo Central	100	100	U	60(60%)	6(6%)	1(1%)	4(4%)	6(6%)	2(2%)	1(1%)	3(3%)	17(17%)	-
Incisivo Lateral	100	100	U	53(53%)	1(1%)	1(1%)	1(1%)	31(31%)	-	8(8%)	2(2%)	3(3%)	-
Canino	100	100	U	46(46%)	4(4%)	-	4(4%)	9(9%)	5(5%)	-	6(6%)	26(26%)	-
1° pré-molar	199	210	V-MV	41(19,52%)	7(3,33%)	2(0,95%)	-	23(10,95%)	-	2(0,95%)	9(4,28%)	11(5,23%)	5(2,39%)
			DV	6(2,85%)	1(0,47%)	-	-	2(0,95%)	-	1(0,47%)	-	-	2(0,95%)
			P	37(17,61%)	4(1,90%)	9(4,28%)	1(0,47%)	11(5,23%)	-	4(1,90%)	20(9,52%)	8(3,80%)	4(1,90%)
2° pré-molar	124	149	V	41(27,51%)	18(12,08%)	1(0,67%)	1(0,67%)	17(11,40%)	-	-	9(6,04%)	12(8,05%)	1(0,67%)
			P	22(14,76%)	7(4,69%)	1(0,67%)	1(0,67%)	9(6,04%)	-	1(0,67%)	6(4,02%)	1(0,67%)	-
1° molar	301	374	MV	61(16,31%)	6(1,60%)	1(0,26%)	1(0,26%)	20(5,34%)	1(0,26%)	1(0,26%)	2(0,53%)	5(1,33%)	2(0,53%)
			MP	27(7,21%)	4(1,06%)	-	1(0,26%)	16(4,27%)	-	11(2,94%)	12(3,20%)	-	4(1,06%)
			DV	53(14,17%)	11(2,94%)	1(0,26%)	2(0,53%)	11(2,94%)	3(0,80%)	4(1,06%)	7(1,87%)	8(2,13%)	-
			P	32(8,55%)	-	1(0,26%)	3(0,80%)	26(6,95%)	11(2,94%)	3(0,80%)	10(2,67%)	14(3,74%)	-
2° molar	297	316	MV	64(20,25%)	10(3,16%)	2(0,62%)	1(0,31%)	11(3,48%)	3(0,94%)	-	8(2,53%)	-	1(0,31%)
			MP	18(5,69%)	-	-	-	9(2,84%)	-	-	4(1,26%)	-	1(0,31%)
			DV	58(18,35%)	10(3,16%)	1(0,31%)	4(1,26%)	7(2,21%)	1(0,31%)	-	4(1,26%)	2(0,62%)	1(0,31%)
			P	40(12,65%)	9(2,84%)	1(0,31%)	4(1,26%)	7(2,21%)	3(0,94%)	6(1,89%)	8(2,53%)	15(4,75%)	-
n de canais por posição do forame apical		1.349		659	98	22	28	215	29	42	110	122	21

(V- vestibular; MV- mesiovestibular; M- mesial; ML- mesiolingual; L- lingual; DL- distolingual; D- distal; DV- distovestibular; U- Canal único; C- central; NI- não identificado). A porcentagem foi considerada pelo número de canais.

Tabela 2 - Distribuição da frequência e porcentagem do número de raízes, canais radiculares e posição dos forames apicais na dentição permanente humana na arcada inferior

Grupo dental (n=700)	Número de raízes (n=911)	Número de canais (n=1.187)	Canal	Frequência e (%)									
				C	M	ML	MV	D	DV	DL	L	V	NI
Incisivo Central	100	124	U	38(30,64%)	5(4,03%)	-	4(3,22%)	2(1,61%)	2(1,61%)	-	5(4,03%)	44(35,48%)	-
Incisivo Lateral	100	134	U	53(39,55%)	9(6,71%)	-	5(3,73%)	5(3,73%)	2(1,49%)	-	2(1,49%)	24(17,91%)	-
Canino	101	107	U	37(34,57%)	14(13,08%)	-	20(18,69%)	2(1,85%)	2(1,85%)	-	2(1,85%)	23(21,49%)	-
1° pré-molar	108	119	V-MV	48(40,33%)	14(11,76%)	-	8(6,72%)	16(13,44%)	1(0,08%)	-	1(0,08%)	10(8,40%)	2(1,68%)
			L	5(4,20%)	2(1,68%)	-	-	1(0,08%)	-	-	2(1,68%)	-	1(0,08%)
			DL	-	1(0,08%)	-	-	-	-	-	-	-	-
2° pré-molar	101	105	V	52(49,52%)	8(7,61%)	3(2,85%)	5(4,76%)	15(14,28%)	2(1,90%)	3(2,85%)	3(2,85%)	9(8,57%)	-
			L	1(0,95%)	-	-	-	-	-	-	-	1(0,95%)	-
1° molar	201	319	MV	60(18,80%)	8(2,50%)	1(0,31%)	1(0,31%)	22(6,89%)	2(0,62%)	-	1(0,31%)	4(1,25%)	-
			ML	57(17,86%)	10(3,13%)	-	1(0,31%)	24(7,52%)	2(0,62%)	1(0,31%)	5(1,56%)	-	-
			D-DV	33(10,34%)	4(1,25%)	-	2(0,62%)	41(12,85)	2(0,62%)	4(1,25%)	7(2,19%)	7(2,19%)	-
			DL	5(1,56%)	2(0,62%)	-	2(0,62%)	6(1,88%)	-	-	4(1,25%)	-	-
2° molar	200	279	MV	37(13,26%)	14(5,01%)	-	5(1,79%)	19(6,81%)	7(2,50%)	2(0,71%)	5(1,79%)	11(3,94%)	-
			ML	32(11,46%)	12(4,30%)	1(0,35%)	2(0,71%)	14(5,01%)	4(1,43%)	3(1,07%)	8(2,86%)	4(1,43%)	-
			D-DV	2(7,52%)	9(3,22%)	2(0,71%)	6(2,15%)	22(7,88%)	15(5,37%)	5(1,79%)	3(1,07%)	15(5,37%)	-
			DL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1(0,35%)
N de canais por posição do forame apical		1187		479	112	7	61	189	42	18	49	152	4

(V- vestibular; MV- mesiovestibular; M- mesial; ML- mesiolingual; L- lingual; DL- distolingual; D- distal; DV- distovestibular; U- Canal único; C- central; NI- não identificado). A porcentagem foi considerada pelo número de canais.

5. DISCUSSÃO

O forame apical pode estar posicionado em qualquer uma das posições da superfície radicular dos dentes. A maior frequência da posição central do forame apical foi encontrada no canal radicular no incisivo central, lateral e raiz vestibular do segundo pré-molar inferior (60%, 53% e 49,52%, respectivamente). A posição do forame apical mais frequentemente encontrada nos incisivos centrais inferiores foi a central (39,55%), seguido da posição vestibular (35,48%). A posição distal do forame apical foi a segunda maior frequência verificada em incisivos laterais superiores (31%). Nos segundos pré-molares superiores, os canais radiculares vestibulares/mesiovestibular apresentaram uma frequência de forame apical na posição central (27,51%). Os segundos molares superiores apresentaram 20,25%, 18,35% e 12,65% da posição central para os canais radiculares mesiovestibular, distovestibular e palatino, valores superiores aos primeiros molares. Os primeiros molares inferiores apresentaram posição central de forame apical em 18,80%, 17,86% e 10,34% para mesiovestibular, mesiolingual, e canal distal/distovestibular respectivamente, valores superiores aos segundos molares inferiores (Tabelas 1 e 2).

Estudos clássicos e livros textos têm descrito as estruturas anatômicas dentais internas e os forames apicais usando diferentes metodologias. Os métodos envolvendo radiografia periapical, cortes transversais e verticais, dentes transparentes, estereomicroscopia, microscopia cirúrgica, microscopia de dissecação, blocos plásticos, microscopia eletrônica de varredura, tomografia computadorizada de feixe cônico e microtomografia tem sido frequentemente utilizados (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Burch & Hulen, 1972; Grossman, 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer 1988; Stein & Corcoran, 1990; Morfis *et al.*, 1994; Ponce &

Fernández, 2003; Marroquin et al. 2004; Baratto-Filho *et al.* , 2009; Michetti *et al.* , 2010; Versiani *et al.*, 2012; Cleghorn *et al.*, 2013; Estrela *et al.* 2015a,b; Gutmann & Fan, 2016; Kato *et al.*, 2016).

A preocupação com o papel decisivo do conhecimento e domínio da anatomia dental na qualidade do tratamento do canal radicular estimulou muitos estudos (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Palmer *et al.*, 1971; Burch & Hulen, 1972; Milano *et al.*, 1983; Vertucci, 1984; Dummer *et al.*, 1984; Stein & Corcoran, 1990; Blaskovic-Subat *et al.*, 1992; Morfis *et al.*, 1994; Ponce & Fernández, 2003; Marroquin & El-Sayed, 2004; Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Versiani *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015a,b; Kato *et al.*, 2016). A incorporação de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico no planejamento endodôntico tem possibilitado determinar a posição do forame apical na dentição permanente humana. Estudos têm caracterizado as estruturas anatômicas internas dos canais radiculares usando imagens de tomografias computadorizadas de feixe cônico (Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015a,b; Kato *et al.*, 2016).

As estratégias de navegação têm melhorado as expectativas de uso desta nova tecnologia em suas aplicações nos procedimentos complexos em endodontia (Bueno *et al.*, 2011; Estrela *et al.*, 2015a). Esta estratégia envolve cortes axiais sequenciais de cada raiz, e navegação por imagem em direção de cervical para apical e vice-versa, em cortes axiais de 0,1-mm/0,1-mm (Bueno *et al.*, 2011). O movimento longitudinal oferece informações sobre a posição exata da estrutura apical do forame apical (do orifício de entrada do canal radicular até o forame apical - ápice radicular), em cortes de 0,1-mm/0,1-mm, em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico. Este método reforça as limitações das radiografias

periapicais, permitindo uma navegação tridimensional em imagens e uma visualização dinâmica, o que antes era estática. No presente estudo, em casos complexos e curvos, uma alternativa e necessidade foi fazer o ajuste de paralaxe. A referência padrão para a análise de posição do forame apical foi sempre correspondente ao canal principal, o que em vários estudos realizados em análises externas da raiz não pode ser determinado. Assim, esta técnica de navegação promove valiosa informação para uma melhor detecção da posição do forame apical usando imagens de altas resoluções.

A posição do forame apical foi categorizada de acordo com as superfícies dos canais radiculares, e posições intermediárias, como descritas em anteriormente (Milano *et al.*, 1983). Estudos prévios (Green, 1956, 1960; Milano *et al.*, 1983; Vertucci, 1984; Morfis *et al.*, 1994) reportaram resultados distintos, certamente devido as diferentes metodologias utilizadas e tamanhos das amostras. Green (1960), em análise baseada estereomicroscopia de 700 ápices radiculares de dentes posteriores inferiores e superiores, observou que aproximadamente 50% das foraminas maiores abriram diretamente no ápice radicular. Milano *et al.* (1983) determinaram em 180 dentes humanos *ex vivo* a localização do forame principal a partir de um plano perpendicular ao longo eixo do dente nos quadrantes mesial, distal, vestibular, lingual e posições intermediárias. A maior tendência apresentou orientação para as posições distais e intermediárias (61,7%). Em 32 (12,6%) casos de 260 estudados a abertura foi cêntrica. Vertucci (1984) analisou em 2,400 dentes permanentes transparentes de adultos, a posição do forame apical. A idade, o sexo, e a raça dos pacientes e as razões para extrações não foram registradas. As posições dos forames apicais analisadas foram a central e a lateral. Foi encontrado um percentual acima de 75% dos forames apicais em posição lateral. Morfis *et al.*

(1994) empregaram microscopia eletrônica de varredura para estudar os ápices radiculares de 38 incisivos superiores, 25 incisivos inferiores, 29 segundos pré-molares superiores, 92 primeiros e segundos pré-molares inferiores, doze primeiros molares inferiores, e 17 primeiros molares inferiores. Foi verificada a presença de mais de um forame em todos os grupos observado mais que um grupo, exceto na raiz palatal de molares superiores e distais de molares inferiores. As foraminas acessórias também foram observadas em todos os grupos dentários. A distância entre o forame principal e o ápice anatômico nunca excedeu 1 milímetro.

Considerando o número total de canais radiculares estudados no presente estudo, pode verificar uma posição não central do forame apical em 51,1% e 59,6% em dentes superiores e inferiores, respectivamente. A posição do forame apical em relação às superfícies radiculares foi determinada tendo como referência a posição espacial do terço apical. Por este motivo, em vários casos, para uma melhor visualização do canal radicular e forame apical houve a necessidade de posicionar o dente perpendicularmente, com vistas a corrigir o erro de paralaxe. Nem sempre houve coincidência entre a direção da curvatura radicular e a posição do forame apical em relação às superfícies radiculares.

As diferenças nas frequências dos forames apicais deste estudo para os outros pode ser explicado por vários fatores, como: variação nas metodologias, tamanho das amostras, o entendimento e definição do forame apical analisado, diferenças entre as classificações, idade dos dentes, conhecimento dos gêneros e etnias dos pacientes. Estas informações, frequentemente são desconhecidas em estudos em ex vivo, enquanto que nos estudos in vivo a idade e o gênero podem ser controlados. A maioria das frequências de forames apicais reportadas na literatura foram descritas baseando em modelo ex vivo, sem registro das idades dos pacientes

(dentes). Todavia, a variabilidade da anatomia descrita na literatura deve ser cuidadosamente considerada antes do início do tratamento do canal radicular. A frequência, número de raízes, canais radiculares, forames apicais, istmos, ramificações e formato dos canais radiculares pode não apresentar um padrão perfeito.

No presente estudo, nos incisivos laterais superiores foram observados em 31% dos casos a posição distal do forame apical. Considerando toda a amostra do estudo, a posição distal do forame apical foi a mais frequente. Estudo prévio também verificou expressiva frequência do forame apical em orientação para distal (Milano *et al.*, 1983).

Park *et al.* (2013) determinaram as curvaturas dos canais radiculares em 186 incisivos laterais superiores. O ponto de curvatura máxima estava localizado a 0,5 mm do ápice radicular. Incisivos laterais superiores apresentaram uma curvatura tridimensional que é máxima próxima ao ápice radicular, orientada em direção disto-palatal. Desta maneira, torna-se necessário tomar cuidado com relação a posição da curvatura do canal radicular com a posição do forame apical.

O correto direcionamento do instrumento endodôntico durante o preparo do canal radicular pode ser facilitado quando se conhece a posição terminal da raiz. A evidência da precisa localização do término da obturação do canal radicular permanece desafiadora. O conhecimento da posição forame apical durante o planejamento clínico e execução do tratamento endodôntico pode reduzir os erros de procedimentos operatórios, o que pode impactar em maiores níveis de sucessos terapêuticos (Estrela *et al.*, 2017). A implicação clínica da determinação da posição original do forame apical envolve o estabelecimento apropriado do limite apical de preparo e obturação do canal radicular, o qual se posiciona no interior dos limites do

canal radicular, bem como a obtenção de um melhor prognóstico do tratamento endodôntico (Ricucci & Langeland, 1998; Wu *et al.*, 2000a,b; Kojima *et al.*, 2004; Gutmann and Fan, 2016; Estrela *et al.*, 2017; Holland *et al.*, 2017). Futuros estudos devem ser desenvolvidos para melhor entender a geometria e comprimento do forame apical para auxiliar na maior efetividade clínica dos procedimentos de limpeza e desinfecção.

6. CONCLUSÕES

A posição central do forame apical nos dentes permanentes humanos apresentou uma frequência de 51,15% e 48,85% nos dentes superiores e inferiores, respectivamente. A determinação da posição do forame apical em imagens de TCFC usando estratégia de navegação representa um método dinâmico e não destrutivo e favorece a identificação da posição do forame apical.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
2. Estrela C, Pécora JD, Estrela CRA, Guedes AO, Silva BSF, Soares CJ, Sousa-Neto MD. Common operative procedural errors and clinical factors associated with root canal treatment. *Braz Dent J* 2017;28:1-12.
3. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1984: 58:589–599.
4. Vertucci FJ, Haddix JE. Tooth morphology and access cavity preparation. In: Hargreaves KM, Cohen S, Berman LH. *Pathways of the pulp*. 10th ed. Mosby; 2010. p. 128-211.
5. Gutmann JL. Fan B. Tooth morphology, isolation, and access. In: Hargreaves KM, Berman LH. *Cohen's Pathways of the pulp*. 11nd ed. Elsevier St. Louis, 2016. p.130-208.;
6. Holland R, Gomes-Filho JE, Cintra LTA, Queiroz IOA, Estrela C. Factors affecting the periapical healing process of endodontically treated teeth. *J Appl Oral Sci* 2017;25:465-76.
7. Grossman LI. *Endodontic Practice*. Philadelphia: Lea & Feboger, 1976. p.170-89.
8. Dummer PM, McGinn JJ, Rees DG. The position and topography of the apical constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984;17:192–8.
9. Cleghorn BM, Goodacre CJ, Christie WH. Morphology of teeth and their root canal systems. In: Ingle JI, Bakland LK, Baumgartner JC. *Ingle's Endodontics*. CBS, New Delhi; 2013. p.151-220.
10. Seltzer S. The root apex. In: Seltzer S. *Endodontology biologic considerations*

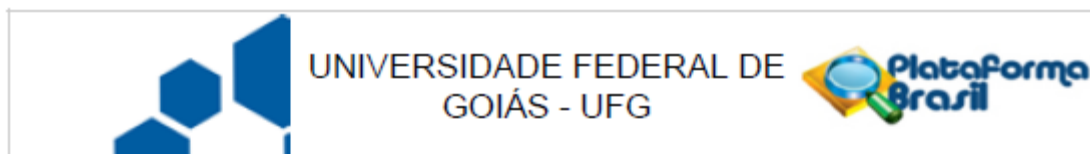
- in endodontic procedures. 2nd ed. Philadelphia: Lea Fabinger; 1988. p.1-30.
11. Ponce EH, Fernández JAV. The cementodentinal canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. *J Endod* 2003;29:214-9.
 12. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc* 1955;50:544-52.
 13. Burch JG, Hulen S. The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;34:262-8.
 14. Green D. A Stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1956;9:1224-32.
 15. Green D. Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1960;13:728-33.
 16. Stein TJ, Corcoran JF. Anatomy of the root apex and its histological changes with age. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;69:238-42.
 17. Marroquin BB, El-Sayed MAA, Willershausen-Zonnchen B. Morphology of the physiological foramen: I. maxillary and mandibular molars. *J Endod* 2004;30:321-8.
 18. Baratto-Filho F, Zaitter S, Haragushiku GA, de Campos EA, Abuabara A, Correr GM. Analysis of the internal anatomy of maxillary first molars by using different methods. *J Endod* 2009;35:337-42.
 19. Michetti J, Maret D, Mallet J-P, Diemer F. Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy. *J Endod* 2010;36:1187-90.
 20. Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Root canal morphology of four-rooted maxillary second molars: a micro computed tomography study. *J Endod*

2012;38:977-82.

21. Estrela C, Rabelo LEG, Souza JB, Alencar AHG, Estrela CRA, Sousa- Neto MD, et al.. Frequency of root canal isthmi in human permanent teeth determined by cone-beam computed tomography. *J Endod* 2015;41:1535-39.
22. Estrela C, Bueno MR, Couto GS, Rabelo LEG, Alencar AHG, Silva RG, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Study of root canal anatomy in human permanent teeth in a subpopulation of Brazil's center region using cone-beam computed tomography - Part 1. *Braz Dent J* 2015;26:530-6.
23. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, et al. Endodontic applications of cone beam volumetric tomography. *J Endod* 2007;33:1121–32.
24. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc* 2007;72:75–80.
25. Bueno MR, Estrela C, Figueiredo JA, Azevedo BC. Map-reading strategy to diagnose root perforations near metallic intracanal posts by using cone beam computed tomography. *J Endod* 2011;37:85–90.
26. American Association of Endodontists, American Acadamey of Oral and Maxillofacial Radiography. AAE and AAOMR joint position statement. Use of cone-beam-computed tomography in endodontics. *Pa Dent J (Harrisb)* 2015;78:37–9.
27. Kato A, Ziegler A, Utsumi M, Ohno K, Takeichi T. Three-dimensional imaging of internal tooth structures: Applications in dental education. *J of Oral Biosci* 2016;58:100-11.
28. Milano NF, Werner SM, Kapezinski M. Localização do forame principal. *Rev Gaucha de Odontol* 1983; 31:220-224.
29. Morfis A, Sylaras SN, Georgopoulou M, Kernani M, Prountzos F. Study of the

- apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;77:172-6.
30. Kojima K, Inamoto K, Nagamatsu K, Hara A, Nakata K, Morita I, Nakagaki H, Nakamura H. Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:95-9.
 31. Park P-S, Kim K-D, Perinpanayagam H, Lee J-K, Chang SW, Chung SH, Kaufman B, Zhu Q, Safavi KE, Kum K-Y. Three-dimensional analysis of root canal curvature and direction of maxillary lateral incisors by using cone-beam computed tomography. *J Endod* 2013;39:1124–29.
 32. Palmer MJ, Weine FS, Healey HJ. Position of the apical foramen in relation to endodontic therapy. *J Can Dent Assoc* 1971 ;8:305-8.
 33. Blaskovic-Subat V, Maricic B, Sutalo J. Asymmetry of the root canal foramen. *Int Endod J* 1992;25:158-64.
 34. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part. 2. A histological study. *Int Endod J* 1998;31:394-409.
 35. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:99-103.

ANEXO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Detecção de istmo na dentição permanente humana por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico.

Pesquisador: LUIZ EDUARDO GREGORIS RABELO

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 37968214.8.0000.5083

Instituição Proponente: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Goiás

Patrocinador Principal: FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 883.431

Data da Relatoria: 30/11/2014

Apresentação do Projeto:

Título: Detecção de istmo na dentição permanente humana por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico. **Pesquisador responsável:** LUIZ EDUARDO GREGORIS RABELO; **Instituição Proponente:** Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Goiás. É um projeto para o mestrado acadêmico da FO, orientado pelo prof. Carlos Estrela. **N. da amostra:** 1400. **Coleta de dados:** 01 a 10/12/2014.

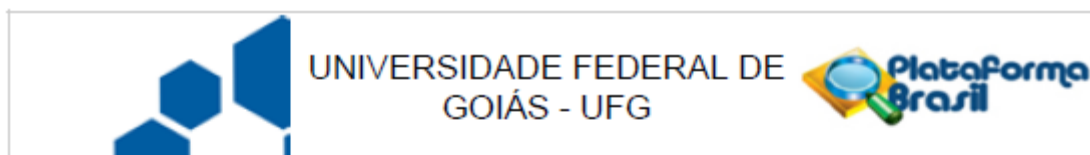
Objetivo da Pesquisa:

Analisar a presença e frequência de istmo na dentição permanente humana por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico. Em específico: 1) Analisar a localização do istmo por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico. 2) Analisar a extensão longitudinal do istmo utilizando-se de estratégias de navegação dinâmica por meio de imagens em tomografia computadorizada de feixe cônico. 3) Analisar a associação das variáveis gênero e faixa etária com a presença ou não do istmo na dentição permanente. 4) Analisar a anatomia interna dos canais radiculares, avaliando o número de canais radiculares e foraminas apicais por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Relatou não apresentar riscos aos participantes da pesquisa por se tratar de estudo retrospectivo

Endereço: Prédio da Reitoria Térreo Cx. Postal 131
Bairro: Campus Samambaia **CEP:** 74.001-970
UF: GO **Município:** GOIANIA
Telefone: (62)3521-1215 **Fax:** (62)3521-1163 **E-mail:** cep.prpi.ufg@gmail.com



Continuação do Parecer: 883.431

utilizando o banco de imagens provenientes de exames de tomografia computadorizada de feixe cônico de uma clínica radiológica odontológica privada em Goiânia-Go. Tais exames foram solicitados por diferentes cirurgiões-dentistas e com finalidades variadas dentro das diversas especialidades odontológicas. Benefícios: Os trabalhos publicados na literatura apresentam alta incidência de istmo na raiz mesio-vestibular dos molares superiores e na raiz mesial dos molares inferiores. No entanto a incidência dessa estrutura nos demais grupos dentários da dentição permanente, ainda necessita de estudos e publicações. É sabido que a anatomia interna dos canais radiculares está intimamente relacionada às taxas de sucesso do tratamento endodôntico. Espera-se que as informações levantadas nesse trabalho possam colaborar com novos conhecimentos a respeito da anatomia dos canais radiculares de elementos dentários que necessitam de tratamento endodôntico, contribuindo diretamente na correta escolha do plano de tratamento e técnica operatória.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Solicitou dispensa do TCLE, por se tratar de pesquisa em banco de dados secundários, porém apresentou o TCUD - Termo de consentimento de Uso de Banco de Dados, assinado pela instituição detentora dos exames. Relataram que a pesquisa será realizada garantindo-se o anonimato do participante, sem conter qualquer indicador da sua identidade, a não ser ao acesso as informações referente ao seu gênero e idade, condições necessárias para a realização da pesquisa. Também não implicará em nenhum custo financeiro ou biológico adicional ao participante, pois não necessitará de exames complementares.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Apresentou os seguintes documentos: Termo de compromisso dos pesquisadores; Certidão de ata do CD da FO/UFG, aprovando o projeto; Solicitação de dispensa do TCLE; Folha de rosto, devidamente assinada; Projeto de pesquisa; Informações básicas do projeto; TCUD - Termo de consentimento de Uso de Banco de Dados.

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Após leitura e análise dos documentos anexados, sugerimos a aprovação do p.p., SMJ.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Prédio da Reitoria Térreo Cx. Postal 131
 Bairro: Campus Samambaia CEP: 74.001-970
 UF: GO Município: GOIANIA
 Telefone: (62)3521-1215 Fax: (62)3521-1163 E-mail: cep.prpi.ufg@gmail.com

APÊNDICE 1



APÊNDICE 1

Apêndice 1 - Termo de Consentimento de uso de banco de dados

O Centro Integrado de Radiologia Odontológica (CIRO) está de acordo, franqueará acesso ao seu banco de dados radiológico e se compromete a apoiar o desenvolvimento da pesquisa e execução do projeto da pesquisadora Luiz Eduardo Gregoris Rabelo, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Estrela da Universidade Federal de Goiás, com o título "Detecção de istmo na dentição permanente humana por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico".

Declaramos conhecer e cumprir as Resoluções Éticas Brasileiras, em especial a Resolução 466/2012 do CNS. O CIRO está ciente de suas co-responsabilidades como co-participante do presente projeto de pesquisa, e de seu compromisso no resguardo da segurança e bem-estar dos sujeitos de pesquisa nela recrutados, dispondo de banco de dados necessários com a garantia da confidencialidade desses sujeitos.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- Essa pesquisa pretende determinar a prevalência dos istmos radiculares nos diferentes grupos dentários por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico utilizando como amostra uma subpopulação brasileira.
- O período de participação nessa pesquisa refere-se ao tempo em que for necessário à obtenção dos arquivos de seu banco de dados.
- A pesquisa será realizada sem expor seu centro de radiologia, garantindo plenamente o sigilo quanto a sua privacidade. Não haverá qualquer tipo de constrangimento ou coação para o preenchimento deste documento, sendo dada total liberdade de recusar a participar do grupo a qualquer tempo, sem que seja penalizado.

Atenciosamente,

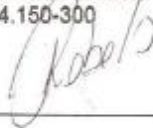
Goiânia, 10 de Setembro de 2014.



Centro Integrado de Radiologia Odontológica

(CNPJ 37.307.618/0001-09)

UNIDADE RADIODONTOLÓGICA
DE GOIÂNIA LTDA
CNPJ: 37.307.618/0001-09
Av. T9 nº 249 Setor Marista
CEP: 74.150-300



Pesquisador responsável
Luiz Eduardo Gregoris Rabelo.

APÊNDICE 2



APÊNDICE 2



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

DISPENSA

Eu, Luiz Eduardo Gregoris Rabelo, solicito a dispensa da aplicação do Termo de consentimento livre e esclarecido do projeto de pesquisa intitulado Detecção de istmo na dentição permanente humana por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico, com a seguinte justificativa:

1. Trata-se de pesquisa retrospectiva com uso de banco de dados radiológicos do Centro Integrado de Radiologia Odontológica.

Atenciosamente,

Goiânia, 10 de Setembro de 2014.

Pesquisador responsável
Luiz Eduardo Gregoris Rabelo.

APENDICE 3

Apical Foramen Position in Relation of Proximal Surfaces in Human Permanent Teeth Viewed by Cone-Beam Computed Tomography

Carlos Estrela¹, DDS, MSc, PhD;_Gabriela Soares Couto¹, DDS, MSc; Mike R Bueno², DDS, MSc, PhD; Cyntia RA Estrela², DDS, MSc, PhD; Ana Helena G Alencar³, DDS, MSc, PhD; Olavo Cesar Lyra Porto¹, DDS, MSc, PhD; Jesus Djalma Pécora, DDS, MSc, PhD;

¹Professor of Endodontics, Department of Stomatologic Sciences, Federal University of Goiás, Goiânia, GO, Brazil;

²Professor of Endodontics, Department of Oral Sciences, University of Cuiabá, MT, Brazil;

Running Title: Apical foramen position in CBCT

Keywords: Root canal anatomy, apical foramen, apical canal, root apices, cone beam computed tomography.

Acknowledgement: The authors deny any conflicts of interest

1.1.1. Correspondence and offprint requests:

1.1.2. Prof. Dr. Carlos Estrela,
Federal University of Goiás
School of Dentistry
Praça Universitária s/n,
Setor Universitário, 74605-220 Goiânia,GO, Brazil.
Phone: +55-62-3209-6254.
e-mail: estrela3@terra.com.br

Abstract

Aim: This study determined the apical foramen position in relation of root surfaces in

human permanent teeth using cone beam computed tomography (CBCT) images. **Methods:** It was selected a sample of 1,400 teeth from CBCT scans of 422 patients (394 women; 44.46 mean age-years). AF position in relation of root surfaces was determined longitudinally on 0.1-mm/0.1-mm axial slices of CBCT images, from the pulp orifice to the root apex. The findings were recorded into seven categories: 1. vestibular; 2. mesiovestibular; 3. mesial; 4. mesiolingual/palatal; 5. lingual/palatal; 6. distolingual/palatal; 7. distovestibular; 8. central. Data were analyzed using descriptive statistics. As variáveis categóricas foram descritas por frequência e porcentagem. A análise estatística dos dados foi realizada no programa Microsoft *Excel para Windows 2013* (Redmond, Washington, EUA). **Results:** The highest frequencies (60%, 53% and 49.52%) in the central position of the apical foramen were found in the central incisors, upper lateral and buccal roots of the second lower premolars. The position of the apical foramen most frequently found in the lower central incisors was vestibular (35.48%), followed by the central position (30.64%). The distal position (31%) of the apical foramen was the second highest frequency seen in the maxillary lateral incisors. In the upper second premolars, the buccal and mesiobuccal root canal presented a higher frequency (27.51%) of the apical foramen in the central position, followed by the mesial position. In the second maxillary molar the greater foramen frequency in the central position was found in the mesiobuccal root (20.25%), and in the lower first molar, the mesiobuccal root was the one with the highest frequency (18.80%). **Conclusions:** AF position in human permanent teeth was central in 51.15% and 48.85% in maxillary and mandibular teeth, respectively. The CBCT and the strategies of longitudinal map-reading represent a dynamic and nondestructive method and improve to identify the AF position.

Introduction

The root canal treatment failure is associated with lack of knowledge and clinical mastery of root canal system (Peters *et al.*, 2004; Estrela *et al.*, 2017). The challenged internal anatomy may present shapes that difficult the access to instruments during root canal preparation and this fact may affect the quality of bacterial control and root canal filling (Peters *et al.*, 2004, Vertucci, 1984).

The micromorphology of the apical region of the root canal and adjacent periapical tissues is characterized by a complex anatomical area, which imposes different degrees of operative difficulties, which facilitate the bacteria to protect themselves in the communities in biofilms, at the same time as the full access of the tools and strategies is limited (Peters, 2004, Vertucci & Haddix, 2010). The apical limit of root canal preparation and filling should be well established, since it has not been recommended to overcome the cement-dentin-canal junction, since it represents a safety reference to the tissue repair process (Gutmann & Fan, 2016, Holland et al., 2017).

The cementodentinal junction (CDJ) represent an anatomic point that cementum meets dentin. Near from this reference is found the apical constriction (AC) (minor apical diameter) considered an apical reference to conclude the root canal preparation and obturation. The apical foramen corresponds to the final opening of the root canal at the level of the apical third (on the external surface of the dental root), where the vessels and nerve fibers establish a communication between the pulp tissue and the periodontal ligament. A clinical aspect of importance in its location is that there is not always a coincidence between the apical foramen and the apical radicular apex. The exact location of cementodentinal junction also cannot determined by periapical radiography (Grossman 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer, 1988; Ponce & Fernández, 2003; Cleghorn *et al.*, 2013).

The location of the cementodentinal canal junction, the diameters of the apical foramen and root canal at the cement dentin canal junction in anterior maxillary teeth was evaluated histologically by Ponce & Fernandez (2003). The cement dentin canal junction related simply to the point at which two histological tissues converge inside the root canal, susceptible to modification depending on each particular clinical

situation, and on the varying extensions of the cementum into the root canal; the apical constriction and the apical foramen are not reliable anatomic references to use to set the apical limit in preparations. Their use as a reference or apical stopping point can result in the induction of lesions in the apical and periapical tissues.

A long conical dentinal portion and a short funnel-shaped cemental portion form the root apices. The cemental portion presents a form of an inverted cone with its narrowest diameter at or near the cementodentinal junction (Kutler, 1955). Kuttler (1955) reported that the distance between the cementodentinal junction and the apical foramen averaged 0.507 mm in young people and 0.784 mm in older people. Burch & Hullen (1972) related that in 92.3% of the teeth studied (877) the apical foramen opened up before the apical limit. The average distance from the radiographic limit to the apical foramen was 0.59 mm. The center of the root apices never coincides with the apical foramen. Dummer et al. (1984) studied the position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. The results showed that it is impossible with complete certainty to establish the position of the apical constriction during the root canal treatment.

Root canal micromorphology (number of roots, root canals, apical foramina, root canal isthmuses, root ramifications, root curvatures, developmental disturbances) have been described by different methods such as by using periapical radiography, vertical and cross-sectional cutting, clearing and staining, stereomicroscopy, surgical microscopy, dissecting microscopy, plastic casts, scanning electronic microscopy, cone-beam computed tomography (CBCT), and micro-computed tomography (MCT). Among the methods described include destructive and non-destructive methodologies (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Burch & Hulen, 1972; Grossman, 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer 1988; Stein &

Corcoran, 1990; Ponce & Fernández, 2003; Marroquin *et al.*, 2004; Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Versiani *et al.*, 2012; Cleghorn *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015; Gutmann & Fan, 2016; Holland *et al.*, 2017).

The images of the root canals and periapical region are indispensable before, during and after endodontic treatment, since success is dependent on correct planning and diagnosis (Estrela *et al.*, 2017). It is common knowledge as limitations that as periapical radiographs show of the internal anatomical complex of the root canal, especially the topography and position of the apical foramen (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Burch & Hulen, 1972; Grossman, 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer 1988; Stein & Corcoran, 1990; Ponce & Fernández, 2003; Marroquin *et al.*, 2004; Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Cleghorn *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015a,b, 2017; Gutmann & Fan, 2016). The CBCT has been incorporated into the procedures in the endodontic clinic, due to the precision in the identification of anatomical structures and periapical lesions often hidden by the periapical radiographs (Estrela *et al.*, 2006a; , 2007, Bueno *et al.*, 2011), and also, respecting the indications proposed by the American Association of Endodontics based on the effective resolution and complex clinical conditions (American Association of Endodontists, 2015).

The knowledge of the location of the apical foramen in relation to the root surfaces can avoid unpleasant complications, such as errors of operative procedures, which are part of risk factors for the failures of root canal treatment (Estrela *et al.*, 2017). The apical foramen may open on the mesial, distal, buccal or lingual / palatal surfaces of the root, or be central, shortly before the apical apex, rather than opening at the apex itself (Grossman, 1976; Dummer *et al.*, 1984). Based on the lack of clinical information regarding the accuracy and position of the apical foramen in

relation to the root surfaces, new information using multidimensional navigation strategies and in vivo model of this anatomical structure can bring benefits to clinical practice. This study determined the apical foramen position in relation of root surfaces in human permanent teeth using cone beam computed tomography (CBCT) images.

Materials and methods

Patients

The CBCT images used in this study were of databases of private radiology clinics (CIRO, Goiânia, Brazil), including patients were referred to the dental radiology service due to diverse diagnoses. It was selected a sample of 1,400 teeth from CBCT scans of 422 patients (394 women; 44.46 mean age-years), from January 2012 to April 2017. The sample was calculated based on a pilot study that showed 90% of the positions of the apical foramens, varying 8% more or less depending on the evaluated dental root. At the significance level of 5%, a sample of 54 roots would be necessary for each group evaluated, totaling 756 teeth. In this study, a sample of 1400 teeth was chosen, consequently lower margin of error and greater reliability of the results.

Criteria inclusion

Among the inclusion criteria to select CBCT images were: absence of root canal treatment, post or crowns; no calcified root canals; no internal or external root resorption; fully formed apex; no history of orthodontic treatment; no developmental disorders; and absence of pathologies. Third molars were excluded. The high-resolution images were included, and to ensure that the analysis was accurate. This

study was approved by the Research Ethics Committee of the institution.

Imaging methods

A standard protocol of CBCT images were obtained using a PreXion 3D Inc. (San Mateo, CA); thickness: 0.100 mm; dimensions: 1.170 mm x 1.570 mm x 1.925 mm; FOV: 56.00 mm; voxel: 0.100 mm, 33.5 s (1,024 views). Tube voltage was 90 kVp, and tube current was 4 mA. Exposure time was 33.5 s. Images were examined using the scanner's proprietary software PreXion 3D Viewer (TeraRecon Inc, Foster City, CA) in a PC workstation with Intel Core 2 Duo-6300 processor, 1.86 Ghz (Intel Corp., Santa Clara, CA), NVIDIA GeForce 6200 turbo cache videocard (NVIDIA Corporation, Santa Clara, CA), EIZO-Flexscan S2000 monitor at a resolution of 1600X1200 pixels (EIZO NANA O Corp., Hakusan, Japan), running Windows XP professional SP-2 (Microsoft Corp., Redmond, WA).

Apical Foramen Position

AF position in relation of root surfaces were determined longitudinally on 0.1-mm/0.1-mm axial, sagittal e coronal slices of CBCT images, from the pulp orifice to the apical foramen (root apex), as well as the apical to coronal direction. The strategy of map-reading dynamics in CBCT images was according to a previous studies (Bueno *et al.*, 2011; Estrela *et al.*, 2015).

When it was necessary, an alternative of visualization of the apical foramen was to position the image perpendicularly, in order to correct the parallax error. The standard reference for apical foramen position was always corresponding to main root canal. In the teeth with one or more roots were analyzed using axial navigation individualized for each root. In maxillary molars, axial navigation started in the

mesiobuccal root and was followed by analysis of distobuccal and palatal roots; in mandibular molars, the axial navigation started in the mesial root, followed by analysis of the distal root. When there were bifurcated roots, the axial navigation was concomitant in these two roots. The determination of apical foramen position and its frequency was characterized according the surfaces of root canals, and the findings were recorded into seven categories: 1. buccal; 2. mesiobuccal; 3. mesial; 4. mesiolingual / palatal; 5. lingual / palatal; 6. distolingual / palatal; 7. distobuccal; 8. central (Figure 1).

This map-reading strategy provided valuable information for a better determination of AF frequency and position. Two observers, an endodontist and a radiologist, both with 10 or more years of experience analyzed all imaging tests. The observers were calibrated evaluating 10% of the sample. When differences were found, a consensus was reached after the image was discussed with a third observer.

Statistical analysis

The analysis of the data corresponding to the positions of the apical foramens in the human permanent dentition used descriptive statistics. Categorical variables were described by frequency and percentage. Statistical analysis of the data was performed using the Microsoft Excel program for Windows 2013 (Redmond, Washington, USA).

Results

The apical foramen position and frequency are distributed in Tables 1 and 2. The position and the frequency of the apical foramen were distributed in Tables 1 and 2.

In the anterior superior teeth, the location of the apical foramen was more frequently

found in the central position (46% to 60%). In the upper lateral incisors, the second highest frequency was observed in the distal position, while the maxillary central incisors and canines showed vestibular position (17% and 26%, respectively). In the lower central incisors, the location of the apical foramen more frequently found (35.48%) was to the vestibular position, after the central position (30.64%). In the lateral incisors and lower canines, the most frequent location of the apical foramen was the central position (39.55% and 34.57%, respectively), after the vestibular position (17.91% and 21.49%, respectively) (Tables 1 and 2).

The first maxillary premolars (Table 1), the buccal and mesiovestibular root canal presented a higher frequency of apical foramen (19.52%) in the central position, followed by a distal position (10.95%). The palatal root canal presented a higher frequency (17.61%) of the apical foramen in the central position, followed by the palatal position (9.52%). The second maxillary premolars the apical foramina presented central positions in 27.51% of the vestibular root canal, and in 12.08% in the mesial position. In the palatal root canal, 14.76% of the apical foramen was found in the central position and 6.04% in the distal position. The first lower premolars (Table 2), the buccal and mesiovestibular root canals had a higher frequency of apical foramen (40.33%) in the central position, followed by distal position (13.44%), mesial position (11.76 %) and buccal position (8.40%). The lower second premolars presented a central position of the apical foramen in 49.52% of the buccal root canal, followed by 14.28% of the distal position.

The first maxillary molars (Table 1) showed central position of the apical foramen in 16.31%, 14.17% and 8.55% for mesiobuccal, distobuccal and palatal root canals, respectively; Meanwhile, the maxillary second molars presented 20.25%, 18.35% and 12.65% of the central position for the mesiobuccal, distobuccal and palatine root

canals, respectively. The first lower molars (Table 2) presented a central position of apical foramen in 18.80%, 17.86% and 10.34% for mesiovestibular, mesiolingual, and distal / distalvestibular canal respectively; While the lower second molars presented 13.26%, 11.46% and 7.52% of the central position for mesiobuccal, mesiolingual and distal and distobuccal, respectively. The AF position on human permanent dentition teeth showed a varied distribution between root surfaces, with lower than 50% of central position in maxillary canines, first and second premolars, mesiopalatal and palatal root canals of first and second maxillary molars, mandibular central incisors and canines, mandibular first premolars, distal root canal of mandibular first molars, and all root canals of mandibular second molars (Tables 1 and 2). The mandibular central incisors presented highest AF frequency (44%) in the vestibular position; and in the distal and distal-buccal root canals (41%) of mandibular first molars, and maxillary lateral incisors (31%) showed the highest AF frequency in distal position, respectively.

Discussion

Apical foramen may be positioned in anyone root surfaces of tooth. The higher frequency of central position of AF was found in mesiobuccal root canal in first and second maxillary molars, and maxillary central incisors (64%, 61% and 60%, respectively). AF position more frequently found in mandibular central incisors was buccal (44%), following of central position (38%). The distal position of AF was the second higher frequency verified in maxillary lateral incisors (31%). In maxillary first premolars, the buccal and mesiobuccal root canal had more frequency of AF in central position (41%), followed by distal position. The mesiobuccal, mesiolingual, distal/distal-buccal root canal showed an AF distal position frequency of 22%, 24%

and 41%, respectively. The occurrence of central position of AF in human permanent teeth was lower to 64% (Tables 1 and 2).

Classical studies and textbooks have been described internal tooth anatomic structures and AF position using different methodologies. Methods such as periapical radiography, vertical and transversal sectioning, clearing and staining, stereomicroscopy, surgical microscopy, dissecting microscopy, plastic casting, scanning electronic microscopy, cone beam computed tomography, and microtomography have been often used (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Burch & Hulen, 1972; Grossman, 1976; Dummer *et al.*, 1984; Seltzer 1988; Stein & Corcoran, 1990; Morfis *et al.*, 1994; Ponce & Fernández, 2003; Marroquin *et al.* 2004; Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Versiani *et al.*, 2012; Cleghorn *et al.*, 2013; Estrela *et al.* 2015a,b; Gutmann & Fan, 2016; Kato *et al.*, 2016).

The concern with the decisive role of knowledge and mastery of the dental anatomy in the quality of root canal treatment stimulated many studies (Kuttler, 1955; Green, 1956, 1960; Palmer *et al.*, 1971; Burch & Hulen, 1972; Milano *et al.*, 1983; Vertucci, 1984; Dummer *et al.*, 1984; Stein & Corcoran, 1990; Blaskovic-Subat *et al.*, 1992; Morfis *et al.*, 1994; Ponce & Fernández, 2003; Marroquin & El-Sayed, 2004; Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Versiani *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015a,b; Kato *et al.*, 2016). The incorporation of cone beam computed tomography (CBCT) images in endodontic planning determined apical foramen position in human permanent teeth. Studies have been characterized root canal internal anatomy structures by using of three-dimensional images in CBCT scans (Baratto-Filho *et al.*, 2009; Michetti *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2013; Estrela *et al.*, 2015a,b; Kato *et al.*, 2016).

Dynamic map-reading strategies have improved a expectative of this CBCT

technology to application in complex operative procedures in endodontics (Bueno *et al.*, 2011; Estrela *et al.*, 2015a). This strategy involves sequential axial slices of each root and image navigation in the coronal to apical (or in the apical to coronal) direction, using 0.1-mm/0.1-mm axial slices (Bueno *et al.*, 2011). The longitudinal movement offers information about the exact AF position of anatomical structures, in 0.1-mm/0.1-mm axial, sagittal e coronal slices of CBCT images, from the pulp orifice to the apical foramen (root apex). This method disables the limitations of periapical radiography, enables the navigation of images and provides a dynamic visualization of what was static before. In the present study, in complex cases or when was necessary, an alternative to identify the AF era posicionar a imagem obliquamente. The standard reference for apical foramen position was always corresponding to main root canal. This navigation approach provided valuable information for a better detection of AF using high-resolution images.

The position of apical foramen used in the present study was categorized according the root surfaces of root canals, and intermediate positions, as described in a previous study (Milano *et al.*, 1983). Previous studies (Green, 1956, 1960; Milano *et al.*, 1983; Vertucci, 1984; Morfis *et al.*, 1994) found distinct results, certainly due methodology and the size sample used. Green (1960) reported after to evaluate in stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth that approximately 50 per cent of major foramina open directly on the apex. Those which do not open at the apex range from eccentric position to 2 mm. Milano *et al.* (1983) determined in 180 human teeth *ex vivo* the localization of the main foramen from a plane perpendicular to the long axis of the tooth in the mesial, distal, buccal, lingual, and intermediate positions. The greater tendency presented orientation to the distal position and intermediate (61.7%). In (12.6%) cases of 260

studied the opening was centric. Vertucci (1984) analyzed in 2,400 transparent permanent teeth, obtained from adults, the position of apical foramen using the dissecting microscope. The age, sex, and race of the patients and the reasons for extraction were not recorded. The positions of the apical foramina analyzed were central and lateral. A percentage greater than 75% of the apical foramens were found in lateral position. Morfis *et al.* (1994) used the scanning electron microscope to study the apices of 38 maxillary incisors, 25 mandibular incisors, 29 maxillary second premolars, 92 mandibular first and second premolars, 12 maxillary first molars, and 17 mandibular first molars. More than one main foramen was observed in all groups except for the palatal root of maxillary molars and the distal root of mandibular molars. Accessory foramina were also observed in all groups of teeth. The distal roots of mandibular molars had the largest size main foramen (mean value, 392 microns), whereas the maxillary premolars had the largest accessory foramina (mean value, 53.4 microns) and the most complicated apical morphologic makeup. The distance of the main foramen from the anatomic apex never exceeded 1 mm. The highest values were observed at the mandibular incisors (978 microns), the distal root of mandibular molars (818 microns), and the upper premolars (816 microns). All values showed satisfactory fitting to normal distribution. Considering the total number of root canal studied in our study, the AF in no centric position in human permanent teeth was found in 51.1% and 59.6% in maxillary and mandibular teeth, respectively. The position of the apical foramen in relation to the root surfaces was determined by reference to the spatial position of the apical third. For this reason, in several cases, for a better visualization of the root canal and apical foramen, it was necessary to position the tooth perpendicularly, in order to correct the parallax error. There was not always any coincidence between the direction of radicular curvature and the position

of the apical foramen in relation to the root surfaces. Green (1960) in analysis based on stereomicroscopy of 700 root tips of the lower and upper posterior teeth observed that approximately 50% of the larger foraminiferae opened directly at the root apex. The variations of frequencies of AF positions found in this study and in others may be explained by several factors, such as: method differences; sample size; the understanding of AF; differences between classifications; tooth age, which, together with patient gender and ethnicity, are often not known in ex-vivo studies, whereas age and gender may be controlled in in-vivo studies. Most AF frequencies reported in the literature were found in ex vivo model, and with out knowledge of age of teeth. Therefore, the variability of human tooth anatomy described in the literature should be carefully considered before starting any root canal treatment. The frequency of number of roots, canals, apical foramen, isthmuses, ramifications and canal shapes may not match any perfect standard. In the present study, in maxillary lateral incisors the distal position of AF was observed in 31% of cases. Considering all sample studied the distal position of the AF was the most frequent. Previous studies (Milano *et al.*, 1983) also verified the expressive frequency of AF in the distal orientation.

Park *et al.* (2013) determined in 186 maxillary lateral incisors canal curvature that was mainly oriented in the disto-palatal direction. The point of maximum curvature was located 0.5 mm from the root apex. Maxillary lateral incisors have 3D canal curvature that is maximal near the root apex, oriented in the disto-palatal direction. It is necessary to take care with relation of position of root canal curvature with position of apical foramen.

The correct orientation of the endodontic instrument during preparation of the root canal can be facilitated when the root terminal position is known. The evidence for this precise location for terminus of the root canal filling remains challenging. The

knowledge of the apical foramen position during the clinical planning and execution of the endodontic treatment reduce the errors of operative procedures, which can impact with higher levels of therapeutic successes (Estrela et al., 2017). The clinical implication of the determination of the original position of the apical foramen involves the appropriate establishment of the apical limit of preparation and obturation of the root canal, which is positioned within the limits of the root canal, as well as obtaining a better prognosis of endodontic treatment (Ricucci & Langeland, 1998; Wu *et al.*, 2000a,b; Kojima *et al.*, 2004; Gutmann and Fan, 2016; Estrela *et al.*, 2017; Holland *et al.*, 2017). Further studies should be done to better understand the geometry and length of AF to help in more effective clinical cleaning and disinfection strategies. In summary, AF position in human permanent teeth was central in 51.15% and 48.85% in maxillary and mandibular teeth, respectively. The CBCT and the strategies of longitudinal map-reading represent a dynamic and nondestructive method and improve to identify the AF position.

References

1. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
2. Estrela C, Pécora JD, Estrela CRA, Guedes AO, Silva BSF, Soares CJ, Sousa-Neto MD. Common operative procedural errors and clinical factors associated with root canal treatment. *Braz Dent J* 2017;28:1-12.
3. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1984; 58:589–599.
4. Vertucci FJ, Haddix JE. Tooth morphology and access cavity preparation. In: Hargreaves KM, Cohen S, Berman LH. *Pathways of the pulp*. 10th ed. Mosby;

2010. p. 128-211.
5. Gutmann JL, Fan B. Tooth morphology, isolation, and access. In: Hargreaves KM, Berman LH. Cohen's Pathways of the pulp. 11nd ed. Elsevier St. Louis, 2016. p.130-208.;
 6. Holland R, Gomes-Filho JE, Cintra LTA, Queiroz IOA, Estrela C. Factors affecting the periapical healing process of endodontically treated teeth. *J Appl Oral Sci* 2017;25:465-76.
 7. Grossman LI. Endodontic Practice. Philadelphia: Lea & Feboger, 1976. p.170-89.
 8. Dummer PM, McGinn JJ, Rees DG. The position and topography of the apical constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984;17:192–8.
 9. Cleghorn BM, Goodacre CJ, Christie WH. Morphology of teeth and their root canal systems. In: Ingle JI, Bakland LK, Baumgartner JC. Ingle's Endodontics. CBS, New Delhi; 2013. p.151-220.
 10. Seltzer S. The root apex. In: Seltzer S. Endodontology biologic considerations in endodontic procedures. 2nd ed. Philadelphia: Lea Fabinger; 1988. p.1-30.
 11. Ponce EH, Fernández JAV. The cementodentinal canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. *J Endod* 2003;29:214-9.
 12. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc* 1955;50:544-52.
 13. Burch JG, Hulen S. The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;34:262-8.
 14. Green D. A Stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1956;9:1224-32.
 15. Green D. Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular

- posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1960;13:728-33.
16. Stein TJ, Corcoran JF. Anatomy of the root apex and its histological changes with age. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;69:238–42.
 17. Marroquin BB, El-Sayed MAA, Willershausen-Zonnchen B. Morphology of the physiological foramen: I. maxillary and mandibular molars. *J Endod* 2004;30:321–8.
 18. Baratto-Filho F, Zaitter S, Haragushiku GA, de Campos EA, Abuabara A, Correr GM. Analysis of the internal anatomy of maxillary first molars by using different methods. *J Endod* 2009;35:337-42.
 19. Michetti J, Maret D, Mallet J-P, Diemer F. Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy. *J Endod* 2010;36:1187-90.
 20. Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Root canal morphology of four-rooted maxillary second molars: a micro computed tomography study. *J Endod* 2012;38:977-82.
 21. Estrela C, Rabelo LEG, Souza JB, Alencar AHG, Estrela CRA, Sousa- Neto MD, et al.. Frequency of root canal isthmi in human permanent teeth determined by cone-beam computed tomography. *J Endod* 2015;41:1535-39.
 22. Estrela C, Bueno MR, Couto GS, Rabelo LEG, Alencar AHG, Silva RG, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Study of root canal anatomy in human permanent teeth in a subpopulation of Brazil's center region using cone-beam computed tomography - Part 1. *Braz Dent J* 2015;26:530-6.
 23. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, et al. Endodontic applications of cone beam volumetric tomography. *J Endod* 2007;33:1121–32.
 24. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc* 2007;72:75–80.

25. Bueno MR, Estrela C, Figueiredo JA, Azevedo BC. Map-reading strategy to diagnose root perforations near metallic intracanal posts by using cone beam computed tomography. *J Endod* 2011;37:85–90.
26. American Association of Endodontists, American Acadamey of Oral and Maxillofacial Radiography. AAE and AAOMR joint position statement. Use of cone-beam-computed tomography in endodontics. *Pa Dent J (Harrisb)* 2015;78:37–9.
27. Kato A, Ziegler A, Utsumi M, Ohno K, Takeichi T. Three-dimensional imaging of internal tooth structures: Applications in dental education. *J of Oral Bioscien* 2016;58:100-11.
28. Milano NF, Werner SM, Kapezinski M. Localização do forame principal. *Rev Gaucha de Odontol* 1983; 31:220-224.
29. Morfis A, Sylaras SN, Georgopoulou M, Kernani M, Prountzos F. Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994;77:172-6.
30. Kojima K, Inamoto K, Nagamatsu K, Hara A, Nakata K, Morita I, Nakagaki H, Nakamura H. Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:95-9.
31. Park P-S, Kim K-D, Perinpanayagam H, Lee J-K, Chang SW, Chung SH, Kaufman B, Zhu Q, Safavi KE, Kum K-Y. Three-dimensional analysis of root canal curvature and direction of maxillary lateral incisors by using cone-beam computed tomography. *J Endod* 2013;39:1124–29.
32. Palmer MJ, Weine FS, Healey HJ. Position of the apical foramen in relation to endodontic therapy. *J Can Dent Assoc* 1971 ;8:305-8.

33. Blaskovic-Subat V, Maricic B, Sutalo J. Asymmetry of the root canal foramen. *Int Endod J* 1992;25:158-64.
34. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part. 2. A histological study. *Int Endod J* 1998;31:394-409.
35. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:99-103.