MÁRCIA REGINA RAMALHO DA SILVA BARDAUIL

**Análise *ex vivo* de cortes apicais de dentes humanos em 3D empregando
microtomografia computadorizada**

São Paulo

2010

MÁRCIA REGINA RAMALHO DA SILVA BARDAUIL

**Análise *ex vivo* de cortes apicais de dentes humanos em 3D empregando
microtomografia computadorizada**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da
Universidade de São Paulo, para obter o título de
Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências Odontológicas.

Área de Concentração: Endodontia

Orientador: Prof. Dr. Manoel Eduardo de Lima
Machado

São Paulo

2010

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

Catálogo da Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Bardauil, Márcia Regina Ramalho da Silva

Análise *ex vivo* de cortes apicais de dentes humanos em 3D empregando microtomografia computadorizada / Márcia Regina Ramalho da Silva Bardauil; orientador Manuel Eduardo de Lima Machado. -- São Paulo, 2010.

81p. : fig., tab., graf.; 30 cm.

Tese (Doutorado) -- Programa de Pós-Graduação em Clínicas Odontológicas. Área de Concentração: Endodontia -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

1. Microtomografia -- Cortes apicais -- Análise. 2. Endodontia. I. Machado, Manuel Eduardo de Lima. II. Título.

CDD 617.6342
BLACK D24

Bardauil MRRS. Análise *ex vivo* de cortes apicais de dentes humanos em 3D empregando microtomografia computadorizada. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas.

Aprovado em: ____/____/2010

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Ao meu pai *Manoel* (sempre presente em meu coração) e minha mãe *Marly* pelos princípios a mim ensinados, um misto de simplicidade e conhecimento, sou profundamente grata.

Às minhas irmãs, *Mara e Maristella* pelo apoio.

Ao meu marido *Newton*, a quem não tenho como agradecer por sua colaboração, compreensão, amor e apoio sempre presentes durante todos esses anos de estudo e....de casamento.

Aos meus filhos *Alessandra e Vitor* por terem me suportado com os meus lapsos, ausências e distração.

Agradeço a Deus, por *vocês* serem *a minha família!*

Família que tanto amo.

Love, Love, Love.....

All you need is love

(Lennon & McCartney)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Eduardo de Lima Machado pelo desafio a mim atribuído no decorrer deste estudo - espero ter alcançado com êxito.

Ao Prof. Dr. Abilio Albuquerque Maranhão de Moura

- o meu grande orientador –

da vida, da profissão, da arte de ensinar... da busca do conhecimento,
agradeço toda a confiança dedicada a mim, nestes anos todos de convivência.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Bombana, chefe do departamento de dentística e Prof. Giulio Gavini responsável pelo curso de pós-graduação da FOUSP por auxiliarem em todos os momentos e pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao grande amigo, Mestre Guilherme Martins, pelo estudo estatístico, pelo apoio, conselhos e dedicação sempre presente.

Aos amigos do curso de pós-graduação em Endodontia: Guilherme, Luís, Danielli, Liliane, Juliana, Andréa e Érico pelo o bom período de convivência.

Aos professores da disciplina de endodontia e de pós-graduação da FOUSP pelos ensinamentos, disponibilidade e conselhos durante toda a jornada deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Fábio Daumas Nunes da Disciplina de Patologia Bucal da FOUSP pelo incentivo e apoio.

À técnica Elisa do Laboratório de Patologia Bucal da FOU SP, minha amiga ligada nos 220v, pela experiência e competência.

Ao Prof. Dr. Marcelo Cavalcanti da Disciplina de Radiologia da FOU SP pelo encorajamento deste trabalho.

Ao doutorando Felipe Ferreira Costa pelas dicas e leitura das imagens de microtomografia.

Aos funcionários do Departamento de Dentística, em especial a Ana Maria, por todo o suporte, amizade e dedicação.

À Universidade Paulista de São Paulo -UNIP – na pessoa do Prof. Dr. Paschoal Laercio Armonia e Prof. Carlos Eduardo Allegretti que me acolheram e me incentivaram na grande trajetória da pesquisa e da vida acadêmica.

Aos professores da disciplina de Endodontia da UNIP, Leni, Camilla, Harry, Sérgio, Fábio e Cacio com os quais mantenho com muito carinho um vínculo profissional e de amizade.

À Embrapa - São Carlos – na pessoa do Prof. Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz e do Eng. Mestre Paulo Lasso, o pequeno grande Paulinho, por terem me recebido como parceira no desvendamento da microtomografia de Raios-X.

À FINEP pelo projeto multiusuários junto a Embrapa Instrumentação Agropecuária, que viabilizou o uso do sistema de microtomografia computadorizada de alta-resolução, processo Nº 01.06.0555.00.

Aos amigos da Instrutécnica Dr. Ricardo G. Mendes pela indicação dos caminhos até o microtomógrafo e à Dra. Elke Van de Castelle pelos ensinamentos técnicos da microtomografia.

Ao Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa durante o doutorado, processo Nº 870294;1997-0 .

Aos funcionários da Biblioteca da FOUSP, pela presteza e colaboração.

Aos pacientes que infelizmente perderam seus dentes e voluntariamente doaram-nos para que este estudo pudesse ser realizado.

E a todas as pessoas que não tenha citado nominalmente, mas que contribuíram para a realização deste trabalho,

meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Bardauil MRRS. Análise *ex vivo* de cortes apicais de dentes humanos em 3D empregando microtomografia computadorizada [Tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2010.

O objetivo deste estudo *in vivo* foi investigar as imagens obtidas por microtomografia computadorizada (micro-TC) no estudo da anatomia apical de dentes humanos portadores de polpa viva e mortificada. Trinta e cinco dentes humanos unirradiculares ou multirradiculares que tiveram suas raízes separadas totalizando quarenta e uma raízes foram rigorosamente pré-selecionadas e divididas em dois grupos: com polpa viva (PV) $n = 21$ e com polpa mortificada (PM) $n = 20$. Os dentes de ambos os grupos foram escaneados pelo sistema de microtomografia computadorizada (SkyScan 1172) com resolução de $6,7\mu\text{m}$ e suas imagens reconstruídas para a análise da região apical nos cortes sagital e coronal. O diâmetro do forame apical (FA) e da junção cimento-dentina (JCD) foram medidos bem como suas distâncias (extensão do cimento) em ambos os lados da raiz. Posteriormente a coroa dos dentes foi cortada no seu colo anatômico e suas raízes foram medidas com paquímetro eletrônico e a odontometria realizada com localizador eletrônico apical (RomiApex A15). A subtração desses dois dados foi correlacionada com as medidas obtidas pela micro-TC na avaliação da posição da JCD. As raízes foram preparadas para avaliação histológica em cortes longitudinais de $6\mu\text{m}$ de espessura e corados com HE. Os cortes que apresentaram a emergência do FA foram fotografados digitalmente e as imagens correspondentes de micro-TC foram sobrepostas com o intuito de ilustrar a metodologia utilizada. As medidas da micro-TC foram realizadas por dois examinadores devidamente instruídos. A concordância inter-examinadores foi confirmada pelo coeficiente de correlação intraclassa (ICC) e as medidas foram comparadas pelo teste de Mann-Whitney (teste de Wilcoxon rank sum - $p \leq 0,05$). Os resultados indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa quanto à extensão do cimento intrarradicular nos grupos quer de polpa viva como mortificada com distâncias de $0,32 \pm 0,1\text{mm}$ e $0,36 \pm 0,16\text{mm}$ respectivamente. As medidas realizadas pelo localizador apical, a $1,0\text{mm}$ aquém, garantiu o estabelecimento do limite dentro do canal dentinário. Os

resultados encontrados para o diâmetro do forame apical foi $619,32 \pm 32 \mu\text{m}$ para o grupo PV e $630,542 \pm 140,99 \mu\text{m}$ para o grupo PM sem diferença estatisticamente significativa. O diâmetro do canal radicular na junção cimento-dentina não apresentou diferença estatisticamente significativa entre PV com $330,37 \pm 126,62 \mu\text{m}$ e PM com $357,62 \pm 996,14 \mu\text{m}$. O posicionamento da JCD em relação ao FM não foi influenciado pelo estado de vitalidade pulpar.

Palavras-chaves: Microtomografia – Cortes apicais – Análise. Endodontia.

ABSTRACT

Bardauil MRRS. Ex vivo analysis of apical human tooth in 3D sections using computed micro-CT [Tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2010.

This *ex vivo* study aimed to investigate the apical anatomy of vital and necrotic human roots by microcomputed tomography (micro-CT). Thirty-five single or multirooted human teeth that had their roots separated totaling forty-one roots were carefully pre-selected and divided into two groups: vital pulp (VP) $n = 21$ and necrotic pulp (NP) $n = 20$. Both groups were scanned by microcomputed tomography system (SkyScan 1172) with $6.7\mu\text{m}$ resolution and the apical region was analyzed by reconstructed images in sagittal and coronal sections. The diameters of the apical foramen (AF) and root canal at the cemento-dentino canal junction (CDJ) were measured. The cementum extension into the root canal was measured on both sides of the root canal. Thereafter the teeth crown was cut at the cemento-enamel junction, the length of roots was measured with a caliper and the working length was performed by an electronic apex locator (RomiApex A15). The result of the subtraction of these two data was correlated with measures obtained by micro-CT in the evaluation of CDJ position. The roots were sectioned in longitudinal histological sections of $6\mu\text{m}$ thickness and stained with HE. The sections that showed the emergence of the FA were digitally photographed and the corresponding micro-CT sections were correlated by superimposition in order to illustrate the methodology. Measures of micro-CT scans were performed by two calibrated examiners. The inter-examiners agreement was confirmed by intraclass correlation coefficient (ICC) and measurements were compared by Mann-Whitney test (Wilcoxon rank sum test - $p \leq 0.05$). The results indicated that there was no statistically significant difference in relation to the extension of cementum into the root canal in both groups VP or NP with average distances of $0.32 \pm 0.1\text{mm}$ and $0.36 \pm 0.16\text{mm}$ respectively. The measurements taken by the apex locator 1 mm from the apex were within the limits of dentinal canal. The diameter of the apical foramen corresponded to the NP group was $619.32 \pm 201.61\mu\text{m}$ and $619.32 \pm 140.99\mu\text{m}$ on average, not statistically significant. The average diameter of the root at the CDJ was $330.37 \pm 126.62\mu\text{m}$ for VP and

357.62 $\pm$ 96.14 μ m for NP groups presenting no statistically significant difference. The distance of the CDJ in relation to AF was not influenced by the pulp vitality.

Keywords: X-Ray Microtomography – Root Apex – Analysis. Endodontics.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	bidimensional
3D	tridimensional
CA	constrição apical
CCD	<i>charged couple device</i> – dispositivo de carga acoplado
ICC	<i>intraclass correlation coefficient</i> – coeficiente de correlação intraclass
CRD	comprimento real do dente
CLEA	comprimento obtido com localizador eletrônico apical
FA	forame apical
FF	forame fisiológico
FM	forame maior
Fm	forame menor
HE	hematoxilina-eosina
JCD	junção cimento-dentina
LEA(s)	localizador(es) eletrônico(s) apical(is)
MD	mésio-distal
Micro – TC	microtomografia computadorizada
min.	minuto
n	número de amostras
PV	polpa viva
PM	polpa mortificada
ROI	<i>region of interest</i> – região de interesse
VL	vestíbulo-lingual
X	vezes ou ampliação

LISTA DE SÍMBOLOS

mm	milímetro
μm	micrômetro
$\mu\text{m}^3(\text{voxel})$	micrômetro cúbico
=	igual
%	por cento
kV	kilovolt
μA	micro-amper
®	marca registrada
°	grau
#	número
°GL	grau Gay Lussac
p	probabilidade
$\leq$	menor ou igual
Ø	diâmetro
$\pm$	mais ou menos
<	menor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
3 PROPOSIÇÃO	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA	27
4.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	27
4.2.1 Preparo das amostras	27
4.2.2 Aquisição e reconstrução das imagens micro-TC	28
4.2.3 Mensuração das amostras e odontometria eletrônica	31
4.2.4 Preparo das amostras para os cortes histológicos	33
4.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	34
4.3.1 Medidas avaliadas	34
4.3.2 Análise estatística	35
5 RESULTADOS	37
5.1 COMPRIMENTO REAL DOS DENTES (CRD)	37
5.2 ODONTOMETRIA ELETRÔNICA (CLEA)	37
5.3 DIÂMETRO DO FORAME MAIOR	38
5.4 EXTENSÃO DO CEMENTO NO CANAL RADICULAR	39
5.5 COMPARAÇÕES DAS DISTÂNCIAS DA JCD POR PAQUÍMETRO E ODONTOMETRIA ELETRÔNICA VERSUS MICRO-TC	44
5.6 DIÂMETRO DA JCD	47
5.7 CORRELAÇÕES ENTRE IMAGENS DE MICRO-TC COM CORTES HISTOLÓGICOS	49
6 DISCUSSÃO	52
7 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICES	67
ANEXOS	79

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do complexo anatômico radicular é fator impar para o bom desempenho das diferentes fases do tratamento endodôntico, considerando ainda que o sucesso depende, entre outros fatores, do selamento hermético do canal dentinário.

Muitos estudos na literatura demonstram que a anatomia do terço apical é bastante complexa, apresentando diferenciações, como, por exemplo, a localização do forame apical, que, na quase totalidade das vezes, não está localizada no ápice radicular, e sim, distalisada; a junção cimento-dentina, por sua vez, quase nunca coincide com o forame menor ou a constrição apical, com os quais é identificada, e pode também apresentar diferenças.

As metodologias estudadas até agora apresentam limitações inerentes às próprias técnicas, de modo que novas análises que possam vir a melhorar o conhecimento da complexidade apical ainda se fazem necessárias, possibilitando assim, uma interpretação mais representativa da realidade anatômica apical.

Do ponto de vista tecnológico, o desenvolvimento dos exames de imagem, entre eles a tomografia computadorizada, permitiu a reconstrução anatômica tridimensional (3D), muito embora com pouca definição, por oferecer apenas uma idéia aproximada da morfologia interna.

Outra tecnologia ainda mais recente e avançada, a microtomografia computadorizada (micro-TC), uma forma miniaturizada da tomografia computadorizada, possibilita que estruturas minúsculas de décimos de milímetros de diâmetro possam ser captadas e reconstruídas com riquíssimos detalhes.

Essas reconstruções levaram os pesquisadores a desenvolver novos métodos, de análise da morfologia externa e interna dental em 3D com maior precisão.

Assim como a microtomografia computadorizada tem se mostrado promissora na investigação de detalhes morfológicos, cabe verificar se a análise de cortes de imagens 3D pode vir a adicionar informações relevantes ao estudo da micromorfologia apical interna.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi correlacionar as medidas de estruturas anatômicas da região apical de dentes humanos permanentes portadores de polpa viva e mortificada obtidas pelo sistema de microtomografia computadorizada com as medidas obtidas pelo localizador eletrônico apical e as medidas do comprimento real destes dentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na tentativa de melhor visualizar a anatomia interna dental, uma série de metodologias foi desenvolvida e tem demonstrado potencial de investigação endodôntica, motivo pelo qual têm sido, e ainda são, utilizadas com sucesso por vários pesquisadores ao longo dos anos. No entanto, algumas limitações inerentes a elas têm sido discutidas, incentivando a busca de novos métodos com melhores recursos.

Dentre as técnicas empregadas, o método de diafanização com injeção de metal fundido (Preiswerk, apud Barret, 1925), celulóide (Fischer, 1907), vulcanite (Hess, 1921), tinta nanquim (Okumura, 1927), resina (Fröner; Rodrigues, 1987) ou silicone (Abou-Rass; Robert, 1982) permite a observação da anatomia interna radicular por transparência do tecido mineral descalcificado total ou parcialmente, mostrando as diferentes ramificações dos canais radiculares. Algumas modificações foram introduzidas nesse método (Hasselgren; Tronstad, 1975; Robertson et al., 1980), tornando-o mais prático, fácil e econômico.

O método de cortes histológicos seriados, proposto por Barrett (1925) possibilitou a diferenciação dos diferentes tecidos do canal radicular, acrescentando informações mais detalhadas, apesar da falta de praticidade em ter que se observar várias lâminas (Coolidge, 1929; Ricucci; Langeland, 1998; Vier; Figueiredo, 2002; Jung et al., 2005a).

Ainda pela microscopia Kuttler (1955) e Green (1956, 1960) mostraram as diferenças morfológicas dos canais e ápices radiculares dos diferentes grupos dentais.

Através de imagens radiográficas obtidas nos sentidos vestibulo-lingual e méso-distal, Barker et al. (1969), Palmer et al. (1971), Pineda e Kuttler (1972) e Tamse et al. (1988) revelaram a grande variedade e complexidade do sistema de canais radiculares.

Em estudo visual direto da região apical de dentes obturados até o vértice radiográfico da raiz, várias pesquisas puderam demonstrar o trespasse do cone de obturação além do limite foraminal (Elayouti et al., 2001; Williams et al., 2006), o que

demonstra que a imagem radiográfica é puramente interpretativa e nem sempre representa a realidade.

A maioria desses métodos de estudo é invasiva e baseada em análises bidimensionais, não refletindo, assim, com precisão a morfologia do dente que está sendo estudado.

Com o objetivo de obter dados mais precisos sobre a morfologia dental, sobretudo da região apical, Tachibana e Matsumoto (1990) estudaram dentes maxilares superiores e inferiores utilizando a tomografia computadorizada com cortes de 2,0mm de largura. O número, a localização, as distâncias das raízes e dos canais radiculares, no sentido vestibulo-lingual e mésio-distal, assim como a presença ou a ausência de materiais obturadores, puderam ser observadas. No entanto, concluíram que, apesar de a imagem 3D ser interessante, não se podiam observar detalhes como a diferenciação do esmalte e da dentina, a altura do assoalho da câmara pulpar, a curvatura dos canais radiculares e a configuração apical da raiz.

Porém, utilizando o recurso de *threshold* na análise da remoção de material obturador, a tomografia computadorizada calculou com precisão o volume do material remanescente (Barletta et al., 2007).

A tomografia computadorizada também foi utilizada no estudo do transporte apical, antes e depois da instrumentação por diferentes técnicas, por Hartmann et al. (2007) no estudo da anatomia de canais dispostos em forma de “C” *in vitro* por Gluskin et al. (2001) e *in vivo* por Jin et al. (2006), e na identificação da presença de dois canais na raiz palatina de um dente molar superior por Aggarwal et al. (2009). Com distâncias de cortes axiais de 0,6mm, as imagens ainda apresentavam pouca definição.

A necessidade do estudo da anatomia radicular, mais especificamente do terço apical, advém da grande dificuldade em se estabelecer na clínica, radiograficamente, a constrição apical (CA), ou seja, a junção cimento-dentina (JCD) ou forame fisiológico, que é descrito como o limite apical onde o tecido pulpar se une ao ligamento periodontal (Cailleteau; Mullaney, 1997).

É amplamente aceito que o preparo e o selamento do canal radicular devem se limitar ao término histológico do tecido pulpar (Grove, 1928; Dummer et al., 1984; Blaskovic-Subat et al., 1992; Hasselgren, 1994; Ricucci, 1998; Ponce, Fernandez,

2003; Olson et al., 2008). Portanto, a capacidade em se determinar com exatidão o comprimento radicular tem um efeito importante sobre o prognóstico da terapia endodôntica. A maioria das pesquisas indica uma combinação de radiografias de diagnóstico, sensação tátil, uso de cone de papel e de localizadores eletrônicos apicais (LEA) para a determinação do comprimento de trabalho endodôntico (Morfis et al., 1994; Gordon; Chandler, 2004; Ebrahim et al., 2007; Kang; Kim, 2008; Marcos-Arenal et al., 2009).

Estudos prévios têm demonstrado frequentemente que o canal radicular se estreita em direção ao ápice no forame fisiológico (FF), que coincide com a junção cimento-dentina (JCD), e se expande para formar o forame anatômico, que nem sempre está centralizado em relação ao ápice radicular anatômico ou radiográfico (Kuttler, 1955; Burch; Hulen, 1972; Kasahara et al., 1990; Blaskovic-Subat et al., 1992; Martos et al., 2009).

Assim, na região mais apical, as paredes do canal radicular apresentam o formato mais afunilado, cônico, formando o forame menor (Fm), que depois se abre formando um cone invertido, o forame maior (FM), muito embora estudos tenham relatado que as paredes possam se apresentar paralelas (Dummer et al., 1984).

Outros autores têm sugerido que a constrição apical muitas vezes não está presente, sobretudo quando existem patologias periapicais, como, por exemplo, a reabsorção radicular (Simon, 1994; Wu et al., 2000).

Com o intuito de avaliar a JCD, o forame fisiológico (FF), a constrição apical (CA) e a extensão do cimento radicular de dentes incisivos centrais, laterais e caninos, Ponce e Fernandez (2003) estudaram cortes histológicos sob microscopia óptica. Observaram uma grande variabilidade na extensão do cimento intrarradicular, com média de 600 μ m (0,6mm), e 1.395,74 μ m (1,39mm) como a maior extensão encontrada para os dentes caninos.

Um estudo utilizando dentes cortados no sentido longitudinal e fotografados com 25X de ampliação foi realizado para verificar se o anel da constrição apical se posicionava em um plano reto. Os limites mais apicais e coronais da constrição apical foram identificados e medidos até o ápice radicular. A análise dos dados indicou que 70% dos dentes apresentaram um desnivelamento, com mais de 100 μ m na dimensão inciso-apical e com um máximo de 385 μ m numa medida enviesada da

posição longitudinal da constrição apical em torno da circunferência do canal radicular (Olson et al., 2008).

Um estudo histomorfométrico foi realizado para relacionar a posição da junção cimento-dentina (JCD) e a constrição apical do forame apical e medir o diâmetro do canal desses diferentes pontos. Os resultados mostraram que a JCD foi detectada a uma distância média de 300µm (0,3mm) do forame apical, com diâmetro médio de 320µm (0,32mm) do canal, enquanto a constrição apical foi detectada a uma distância média do forame apical de 1,20mm, com diâmetro do canal de 0,22mm. Além disso, a constrição apical foi sempre encontrada mais para coronal em relação à JCD. A média do diâmetro do canal a 0,5mm, 1,0mm e 1,5mm do forame apical foi de 0,33mm, 0,28mm e 0,25mm, respectivamente. Esses resultados demonstraram claramente que, em dentes pré-molares inferiores, a JCD e a constrição apical não são um único ponto (Hassanien et al., 2008).

Algumas pesquisas verificaram a distância entre o ápice fisiológico e anatômico de raízes de dentes anteriores e posteriores utilizando a estereomicroscopia eletrônica e observaram que a distância média foi de 0,69mm e sempre menor que 1,0mm. Nos dentes posteriores, a maior distância foi de 0,82mm, e a menor, nos dentes anteriores, de 0,39mm (Marroquin et al., 2004; Martos et al., 2009).

Uma das mais recentes inovações da engenharia para a medicina, com o objetivo de estudo e investigação, é a microtomografia computadorizada (micro-TC). Trata-se de uma forma miniaturizada da tomografia computadorizada, com resolução na ordem de micrômetros, que, juntamente com os avanços dos programas de monitorização de imagens, permitiu que novas tentativas fossem realizadas por vários pesquisadores para incorporá-la na investigação endodôntica.

A micro-TC é um sistema com modo de aquisição *cone-beam*, composto por um feixe de microfoco de raios-X refrigerado e câmera CCD (*charged couple device*) acoplada, com resolução a partir de 0,8µm³ (voxel). O sistema permite a regulação da potência e amperagem, assim como variações de rotação da amostra e a utilização de filtros de alumínio e/ou cobre, dependendo do material presente no espécime. A ampliação estabelecida depende do tamanho do objeto e do tamanho do pixel utilizado.

A partir das centenas de projeções das imagens obtidas, o computador sintetiza secções (cortes) virtuais bidimensionais (2D) da amostra, que podem ser reconstruídas nos três eixos - coronal, sagital e axial, com o auxílio de programa de computador do próprio sistema, além de observadas e manipuladas virtualmente. Mensurações também podem ser realizadas em imagens 2D nos diferentes cortes 3D na própria tela do computador, com ferramenta de programa computacional indicando a medida real. A reconstrução dos três eixos é de alta qualidade, apresentando erro de apenas 1% (Nielsen et al., 1995).

O programa também permite a confecção de um modelo tridimensional (3D) a partir da escolha da região de interesse - ROI (*region of interest*) - dos cortes axiais e da binarização desses cortes. Posteriormente, em um gráfico de histograma definem-se os limites de densidade do objeto a ser reconstruído, denominado *threshold*, e a reconstrução ou renderização do volume 3D pode ser realizada com programa computacional específico.

Apesar de a microtomografia computadorizada ter sido introduzida para o estudo da natureza anisotrópica do tecido ósseo (Elliott; Dover, 1982, 1984), também tem sido utilizada no estudo tridimensional da anatomia dental.

Especificamente no estudo da morfologia dental, a reconstrução 3D na ordem de resolução de aproximadamente $40\mu\text{m}^3$ (voxel) mostrou reproduzir fielmente a morfologia dental interna e externa, da mesma forma que o volume e a área do espaço pulpar puderam ser medidos (Nielsen et al., 1995; Dowker et al., 1997a).

A partir da imagem tridimensional foi possível avaliar mudanças morfológicas da câmara coronária com o decorrer da idade. Desgastes das coroas e a formação de tecido dental na câmara pulpar foram calculados volumetricamente em dentes de diferentes grupos etários, medidas essas que não podiam ser realizadas com a histomorfometria convencional (Davis; Wong, 1996; Oi et al., 2004).

Ao utilizar uma resolução de $81\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$, o espaço pulpar, câmara e sistema de canais radiculares puderam ser claramente reconstruídos, confirmando uma relação entre a morfologia externa e interna da coroa e do sistema radicular (Bjørndal et al., 1999).

Detalhes anatômicos ainda mais diminutos, como canais intercondutos, istmos, canais acessórios e dois canais nas raízes méso-vestibulares de molares

superiores, puderam ser detectados com resolução de 12,5µm (Mannocci et al., 2005; Somma et al., 2009).

Com a possibilidade de segmentação, ou seja, de visualização simultânea ou separadamente do esmalte, da dentina e do espaço pulpar, com diferentes colorações, foi possível observar e comparar alterações geométricas, como o transporte apical, o volume de dentina removido e a modelagem do canal provocada pela instrumentação dos canais radiculares (Nielsen et al., 1995; Dowker et al., 1997b, Bjørndal et al., 1999).

Em um estudo comparativo utilizando a técnica do preparo manual com limas de aço (K-flex) e níquel-titânio (Ni-Ti), a micro-TC mostrou que houve significativamente menos transporte apical, menor volume de dentina removida e preparos mais centralizados e arredondados, quando utilizadas limas Ni-Ti (Gambill et al., 1996).

Examinando a área interna e externa de raízes de molares inferiores antes e depois da instrumentação dos canais, a micro-TC com resolução de 81µm foi comparada com imagens de cortes de dentes digitalizadas em vídeo com resolução de 25µm. Uma diminuição de 28% do volume de dentina foi calculada, mostrando alta correlação com os cálculos realizados por imagens de vídeo com 0,4% de erro. Assim, como a micro-TC possibilita vários cálculos matemáticos, medidas de superfície e de volume, foi considerada uma nova ferramenta para estudos endodônticos (Rhodes et al., 1999).

Ainda analisando as alterações geométricas dos canais radiculares de 18 canais de seis dentes molares superiores com diferentes técnicas de instrumentação, a micro-TC com resolução de 34µm³, mostrou que as alterações de volume e de forma e o transporte apical estão mais relacionados com a geometria dos detalhes do canal no pré-operatório do que com a técnica operatória utilizada (Peters et al., 2001a)

Já na instrumentação dos canais radiculares preparados com diferentes tipos de limas Ni-Ti, a micro-TC revelou que os canais apresentavam formato mais arredondado, maiores diâmetros e paredes que não receberam instrumentação, havendo necessidade de mais estudos com técnicas de renderização 3D para um melhor entendimento dos aspectos biomecânicos do preparo do canal radicular (Peters et al., 2001b).

Assim, uma nova metodologia e um novo modelo de reconstrução matemática quantitativa foram desenvolvidos com o intuito de sobrepor imagens 3D obtidas com a micro-TC antes e depois da instrumentação mecanizada (ProFile-0,04 - Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) de um único dente, o que permitiu o cálculo do volume e o translado do longo eixo central do canal (Bergmans et al., 2001).

Dentes que foram preparados com limas ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) apresentaram maior diminuição de volume, de área e de espessura da superfície preparada em canais mais estreitos e curvos do que em canais mais amplos e retos (Peters et al., 2003).

O mesmo aconteceu quando do preparo com o sistema Endo-Eze AET (Ultradent Products, Inc. South Jordan, UT, EUA) que mostrou ainda uma maior incidência de transporte apical em raízes méso-vestibulares de dentes molares superiores. Confirmou-se, assim, que a micro-TC pode melhorar o conhecimento da anatomia do canal radicular e da cinemática da instrumentação dos canais radiculares (Paqué et al., 2005).

A grande diversidade da anatomia radicular pode apresentar distrofias de raízes e canais. Nesse sentido, a micro-TC de alta resolução se mostra bastante promissora no estudo detalhado da anatomia dental (Guillaume et al., 2006).

Nesse contexto, foram realizados estudos das características anatômicas dos orifícios de entrada dos canais com raízes em forma de “C”. Dentes segundos molares inferiores foram escaneados através da micro-TC com intervalos de corte de 0,5mm. As imagens 3D permitiram observar que os orifícios de entrada dos canais estavam localizados aproximadamente entre 1,0mm e 3,0mm abaixo da junção amelo-cementária e que as raízes se encontravam fusionadas abaixo do terço médio da raiz (Fan et al., 2004a,b; Lynn, 2006).

Ainda investigando a anatomia apical de raízes em forma de “C”, a microtomografia computadorizada realizou a reconstrução desses dentes nas três dimensões. Pôde-se observar que a prevalência de canais acessórios, canais laterais, comunicações intracanal e delta apical foram de 41%, 25%, 27% e 11%, respectivamente, e a incidência de dois canais no terço médio e apical foi de 21% e 80%, confirmando que esse tipo de dente apresenta relevantes variações morfológicas no sistema de canais radiculares (Cheung et al., 2007; Fan et al., 2008).

No estudo da morfologia interna dos canais radiculares, Plotino et al. (2006b) aplicaram a micro-TC, que revelou que especificamente no terço apical era possível a visualização de deltas e ramificações apicais dos canais radiculares. Concluíram que a micro-TC oferece uma reprodutibilidade técnica 3D não-invasiva de avaliação dos sistemas radiculares ainda não adequada para uso clínico, embora, constitua importante ferramenta de estudo pré-clínico para análise e escolha dos procedimentos mais adequados ao tratamento endodôntico.

Na tentativa de ilustrar a anatomia radicular, Yu et al. (2006), utilizaram a micro-TC e radiografias de casos clínicos. Verificaram que as imagens escaneadas mostravam que o canal principal se divide em canais acessórios, menos calibrosos, com múltiplas saídas, existindo intercomunicação entre eles, sendo incomuns os deltas apicais. Correlacionando esses dados, com casos clínicos de dentes endodonticamente tratados, os dados foram semelhantes, mostrando que ambas, a micro-TC e as radiografias podem descrever a complexidade da anatomia radicular.

Ao retratar essa complexidade da anatomia radicular, o uso da micro-TC com resolução de 19,5µm, em conjunto com um programa de modelo matemático 3D, foi validado para a mensuração da curvatura de raízes de molares superiores. As raízes méso-vestibulares desses dentes apresentaram as curvaturas mais acentuadas, localizadas principalmente no terço apical (Lee et al., 2006).

A microtomografia computadorizada também foi utilizada com o intuito de desenvolver um protótipo que simulasse um canal curvo para subsequentes estudos de procedimentos endodônticos, juntamente com a análise de elementos finitos (Cheng et al., 2007).

No estudo simulado da infiltração marginal entre a restauração coronária e a obturação endodôntica, a micro-TC mostrou que forramentos com o cimento Fuji-Plus apresentaram menos porosidade e se mostraram mais eficazes, com a permanência de aproximadamente 70 dias sem infiltração marginal (Zakizadeh et al., 2008).

Alterações estruturais das paredes do canal radicular foram estudadas antes e depois da instrumentação com o auxílio da micro-TC, já que essa metodologia não-invasiva permite a avaliação sem a realização de cortes das amostras.

Dentes com raízes em forma de “C” foram instrumentados com sistema rotatório, revelando áreas não instrumentadas ao longo da raiz, principalmente nas áreas entre canais (Cheung; Cheung, 2008).

Os diâmetros de dentes pré-molares com canais ovalados foram analisados para verificar a espessura dentinária radicular remanescente, tendo-se constatado que a forma ovalada permanece inclusive no terço apical (Grande et al., 2008).

Analizando ainda, a anatomia apical, Paqué et al. (2010) verificaram a má adaptação das primeiras limas na região apical, com análises 2 e 3D de imagens de micro-TC. Salientaram a necessidade de estudos para investigar qual o melhor formato das limas para melhorar a adaptação e consequentemente a limpeza da região apical.

A micro-TC também foi utilizada para quantificar com mais exatidão a destruição óssea periapical nas patologias perirradiculares de ratos. Quando comparados com cortes radiográficos de 17 μ m de espessura, demonstraram alta correlação, da ordem de 4,1% de diferença. Portanto, mesmo em amostras de ratos com pequena dimensão, a micro-TC mostrou que é uma metodologia de imagem rápida, reproduzível, não-invasiva, cujos resultados são estreitamente comparáveis aos resultados obtidos pela histologia (Balto et al., 2000).

Para verificar a acurácia de imagens de micro-TC em canais obturados, Jung et al. (2005b) realizaram a sobreposição de cortes histológicos e imagens de micro-TC, tendo constatado uma grande correlação, tanto qualitativa como quantitativa.

A micro-TC foi utilizada para o cálculo do volume remanescente de material obturador para avaliar a melhor técnica, manual ou rotatória, na desobturação de canais radiculares com diferentes materiais. Com resolução de 14,6 μ m, nenhuma das técnicas mostrou-se totalmente efetiva; no entanto, a melhor técnica foi a manual dos dentes obturados com guta-percha (Hammad et al., 2008).

Ainda avaliando a obturação de canais radiculares, foi possível calcular o volume de espaços vazios e lacunas usando programa computacional específico para micro-TC - CTan e CTVol (Skyscan - Aartselaar, Bélgica) o qual demonstrou que nenhum dos diferentes materiais testados preenchiem todo o sistema dos canais radiculares (Hammad et al., 2009).

Por sua vez, Mirfendereski et al. (2010) empregaram a micro-TC como uma ferramenta de investigação no estudo pré-clínico de duas técnicas de obturação

termoplastificada, *ProTaper Obturators* (PTO - Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EUA) e *System-B Calamus* (SybronEndo Corp, Orange, CA, EUA) realizadas por alunos de graduação, ainda inexperientes na prática da endodontia, para elencar a mais fácil e com menos espaços vazios. Os resultados sugeriram que a técnica PTO foi particularmente a mais apropriada quando da pouca experiência.

O escaneamento pela micro-TC mostrou ser uma metodologia confiável na determinação de mudanças estruturais radiculares, de desgastes causados pelo uso do ultrassom na remoção de limas fraturadas, existindo uma correlação entre volume do canal e massa radicular. As maiores diferenças entre o peso e o volume dentinário dos dentes, antes e depois do tratamento, foram encontradas quando as limas fraturadas estavam posicionadas mais apicalmente (Madarati, 2009).

Efeitos da instrumentação radicular, dimensões do canal radicular e o volume de dentina excisada puderam ser medidos com um programa de computação gratuito, MeVisLab, da mesma forma que a anatomia interna e externa puderam ser reconstruídas. Além disso, a simulação de um preparo radicular para a retirada de um instrumento fraturado também foi realizada. Portanto, a utilização de um programa de computação gratuito resultou na melhoria de qualidade da investigação endodôntica pela microtomografia computadorizada (Gao et al., 2009).

Amparados nos trabalhos descritos, podemos inferir que a *microtomografia computadorizada* é uma técnica não-invasiva, que permite a visualização detalhada das características morfológicas externas e internas de um dente nas três dimensões, sem destruí-lo. Concluímos também que são poucos os estudos encontrados na literatura sobre a anatomia apical, que relacionam a morfologia do ápice radicular, o diâmetro dos forames anatômicos e da junção cimento-dentina, e, principalmente, a distância entre eles.

Portanto, a finalidade deste estudo foi analisar a anatomia apical de dentes portadores de polpa viva e polpa mortificada para determinar o diâmetro da junção cimento-dentina (JCD), do forame anatômico e suas respectivas distâncias, através de imagens obtidas pela microtomografia computadorizada, correlacionando esses dados com os dados obtidos por localizador eletrônico apical e o comprimento real do dente.

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi:

- investigar a anatomia apical de dentes humanos, portadores de polpa viva e mortificada, através de imagens obtidas por micro-TC, para medir o diâmetro do forame anatômico ou forame maior (FM) e o diâmetro da JCD, bem como as distâncias entre esses diferentes pontos;
- correlacionar os dados obtidos pela subtração do comprimento real dos dentes pelo uso de paquímetro, da medida obtida pela odontometria determinada pelo localizador eletrônico apical, com as medidas obtidas pelo micro-TC para determinar a posição anatômica da junção cimento-dentina (JCD).

A hipótese nula foi que a posição anatômica da JCD em função da extensão do cimento não depende dos dentes serem portadores de polpa viva ou mortificada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA

Para realização deste estudo foram utilizados dentes humanos recém extraídos de pacientes que procuraram o setor de Urgência da Universidade Paulista – UNIP, por razões que impossibilitavam sua permanência no sistema estomatognático, com o respectivo consentimento expresso na ficha conforme modelo do “Anexo A” (página 79).

Para que esses dentes pudessem ser incluídos neste estudo, as raízes deveriam apresentar ápice completamente formado e íntegro, sem sinais de fratura e sem nenhum tipo de intervenção endodôntica.

Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, protocolo Nº225/ 2008 (Anexos B e C, páginas 80 e 81).

4.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.2.1 Preparo das amostras

Trinta e cinco dentes humanos unirradiculares ou multirradiculares que tiveram suas raízes separadas totalizando quarenta e uma raízes foram extraídos e imediatamente colocados em frascos individuais devidamente identificados contendo solução formol a 10% (Duarte Amaral & Cia Ltda., São Paulo, SP, Brasil).

Previamente foram realizadas radiografias periapicais com filme radiográfico D-Speed (Eastman Kodak Company, Rochester, EUA) e testes de vitalidade com *spray* refrigerante Endo-Frost Roeko® (Coltène/Whaledent, Langenau, Alemanha)

para que fossem separados em dois grupos. O primeiro denominado grupo “PV”, com 21 dentes portadores de polpa viva (PV) e o segundo grupo, “PM”, com 20 dentes portadores de polpa mortificada (PM).

Nos casos de polpa viva, os dentes selecionados em sua maioria tiveram exodontia indicada por razões ortodônticas ou de planejamento de implantes. Nos casos de polpa mortificada, os dentes não apresentavam reabsorção radicular visível radiograficamente e, quando do envolvimento periodontal, o critério determinante foi o máximo de mobilidade 2 e bolsa periodontal de 4,0mm.

4.2.2 Aquisição e reconstrução das imagens micro-TC

Os dois grupos, PV e PM, foram escaneados pelo sistema de alta resolução de microtomografia computadorizada, SkyScan 1172 (SkyScan, Kontich, Bélgica), no modo de aquisição de feixe cônico com micro foco de 5 μ m (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Sistema de microtomografia computadorizada - SkyScan 1172

O sistema de raios-X foi utilizado a 100kV e 100 μ A, utilizando filtro de 0,5 mm de alumínio.

As imagens foram obtidas com resolução pixel de $6,7\mu\text{m}$, rotação total do eixo vertical de 180° e passo de rotação do dente de $0,9^\circ$, totalizando aproximadamente 45min. de escaneamento (Quadro 4.1).

Voltagem	100kV
Amperagem	100 μA
Tamanho do pixel	$6,7\mu\text{m}$
Rotação do eixo	180°
Passo de Rotação	$0,9^\circ$
Filtro de alumínio	0,5mm
Tempo de escaneamento	$\pm 45\text{min.}$
Número de frames	8

Quadro 4.1- Parâmetros utilizados no escaneamento dos dentes

Os dentes foram posicionados com a coroa aderida com massa de modelagem (Marijell Ind. Ltda, Diadema, SP, Brasil) ao suporte específico do próprio sistema, de modo que a raiz ficasse livre para o escaneamento (Figura 4.2). Após a obtenção das imagens, os dentes foram recolocados em solução formol a 10%.

O sistema foi controlado por uma estação de trabalho com quatro computadores utilizando sistema operacional Windows XP Profissional (Microsoft Corp, WA, EUA).

Figura 4.2 - Suporte pequeno posicionado para a o escaneamento dos dentes

Após o escaneamento, somente o terço apical da raiz desses dentes foi reconstruído com programa computacional do próprio sistema, NRecon (Skyscan - Kontich, Bélgica), produzindo imagens bidimensionais dos cortes transversais da estrutura das raízes. Um filtro automático para a correção de *beam-hardening* e *ring correction* de reconstrução foi utilizado em nível de 40% e 18% respectivamente (Quadro 4.2).

<i>Beam-hardening correction</i>	40
<i>Ring correction</i>	18
Tempo de reconstrução	20min.
Número de cortes	±820

Quadro 4.2 - Parâmetros utilizados na reconstrução dos dentes

Posteriormente foi utilizado o programa DataView (Skyscan - Kontich, Bélgica) no modo visualização dos cortes nos 3 eixos: coronal, sagital e axial para a obtenção das medidas dos diâmetros da JCD, do forame maior (FM) ou anatômico, bem como suas distâncias em micrômetros (μm) com régua digital do próprio programa (Figura 4.3).

Figura 4.3 – Programa DataView com visualização dos 3 eixos

Sendo que, o corte coronal corresponde ao sentido vestibulo-lingual (VL) e o sagital no sentido mésio-distal (MD) do dente.

As imagens foram analisadas com ampliação de 40 a 80% e as medidas convertidas automaticamente pelo sistema. Os dados obtidos foram tabulados para posterior análise estatística (Apêndices A, B, C e D, páginas 67, 68, 69 e 70).

4.2.3 Mensuração das amostras e odontometria eletrônica

Os dentes dos grupos de PV e PM foram cortados na junção amelo-cementária com discos de carborundum (3M do Brasil, Sumaré, SP, Brasil) montados em peça de mão reta e micromotor, sem *spray* (Dabi Atlante, Ribeirão Preto, SP, Brasil), protegendo-se as raízes com gaze embebida em formol 10%. As coroas foram descartadas e nas raízes foi criado um sulco por vestibular na porção mais cervical para ser utilizado como referência.

Com auxílio de paquímetro eletrônico (Mitutoyo Sul Americana Ltda., Suzano, SP, Brasil), as raízes foram medidas, obtendo-se assim, o comprimento real do dente (CRD) em centésimos de milímetros nos dois sentidos, vestibulo-lingual (VL) e mésio-distal (MD), para os dois grupos, PV e PM (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Paquímetro eletrônico utilizado na mensuração do comprimento real dos dentes

As medidas obtidas foram colocadas em tabelas e analisadas estatisticamente (Apêndices E e F, páginas 71 e 72).

Em seguida foi utilizada uma sequência de brocas do tipo Gates-Glidden #1, 2 e 3 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) compatível com o diâmetro da raiz nos 4,0mm cervicais para o preparo da entrada do canal.

Para a obtenção da odontometria eletrônica foi utilizado o aparelho RomiApex A15 (Romidan Inc., Kiryat, Ono Israel) de 3ª geração do tipo impedância-frequência-dependente.

Dentre as diversas metodologias preconizadas para a odontometria eletônica *in vitro*, optamos a que emprega a esponja floral (Miniarte artesanato, São Paulo, SP) em uma cuba plástica, que foi inundada com solução de hipoclorito de sódio 1% (Farmácia Fórmula & Ação, São Paulo, SP, Brasil), com um dos eletrodos - o clipe labial - introduzido na esponja (Figura 4.5).

Figura 4.5 - Localizador eletrônico utilizado a 1,0mm apical

Os instrumentos de escolha utilizados foram limas K-Flexofile #08, 10 (Maillefer, Ballaigues, Suíça) lixadas manualmente com disco de polimento Sof-lex (3M do Brasil, Sumaré, SP, Brasil) para reduzir a ação de seu corte ou espaçadores digitais #15, 20 (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça) de maior calibre

possível, conforme o dente em estudo, para que se pudesse passivamente chegar até o ápice.

Os dentes dos dois grupos, PV e PM, foram colocados um a um na esponja e irrigados com solução de hipoclorito de sódio 1% (Farmácia Fórmula & Ação, São Paulo, SP, Brasil), removendo-se o excesso com gaze. No outro eletrodo, o portá-limas, foi acoplado à lima selecionada, que avançou no canal até o localizador apical registrar a marca de 1,0mm aquém do forame apical.

Um *stop* de silicone (Angelus Ind. de Prod. Odontológicos S/A, Londrina, PR, Brasil) inserido na lima foi ajustado até a superfície da raiz, com a ajuda de uma pinça hemostática *Kelly* (Wilcos do Brasil Ind. e Com. Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil).

A lima foi então retirada e o comprimento obtido pelo localizador apical (CLEA) foi mensurado com régua milimetrada (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Os dados obtidos foram colocados em tabelas para análise estatística (Apêndices G e H, páginas 73 e 74).

4.2.4 Preparo das amostras para os cortes histológicos

Inicialmente as raízes foram descalcificadas em ácido fórmico 60% (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha), por 21 dias. A emergência do forame apical foi observada através de lupa estereoscópica com 20X de aumento (Stemi-SV11, Carl Zeiss, Oberkochen, Alemanha) para orientação da realização do corte macro longitudinal, tomando-se o cuidado para manter intacta a região apical, e então descalcificadas por mais 9 dias, totalizando 30 dias de descalcificação.

Posteriormente as raízes foram desidratadas em cadeia ascendente de alcoóis, obedecendo à seguinte ordem: 70°GL, 80°GL e duas vezes em álcool absoluto (Labsynth Produtos para Laboratório Ltda., Diadema, SP, Brasil). Em seguida foi realizada a diafanização em xilol e a inclusão em blocos de parafina (Labsynth Produtos para Laboratório Ltda., Diadema, SP, Brasil).

Os blocos foram cortados em Micrótomo (Eikonal do Brasil Instrumentos Ópticos e Científicos, São Paulo, SP, Brasil) com navalha de alto perfil (Erviagas Instrumental Cirúrgico Ltda., Alexandria, SP, Brasil) com espessura de 6µm, e

corados com hematoxilina-eosina (HE) (Carlo Erba Reagenti, Rodano, MI, Italy) para análise histológica sob microscopia óptica.

Os cortes histológicos foram analisados em plataforma de microscopia Axio Imager A1 (Carl Zeiss, Oberkochen, Alemanha) com 25X de magnificação, fotografados com câmera digital (Axio Cam HRc), e as imagens arquivadas com auxílio de programa computacional (Axio Vision vs40 v.4.6).

Os cortes que apresentavam o ápice radicular com a emergência foraminal completa foram selecionados e transportados para programa computacional, Adobe® Photoshop® CS2 9.0 (Adobe Systems Incorporated, California, EUA) para a correlação com as imagens de micro-TC.

4.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Para que a metodologia de micro-TC fosse possível, a diferenciação das estruturas radiculares apicais passou a ser definida através de conceitos histológicos e radiográficos. Do ponto de vista histológico, a identificação diferencial dessas estruturas foi baseada no ângulo de deposição das lamelas cementárias, em contraste com as características morfológicas típicas dos túbulos dentinários. Tal diferenciação foi possível de ser avaliada do ponto de vista radiográfico quando se observou a radiopacidade e a harmonia morfológica.

Desta forma, as medidas foram obtidas e correlacionadas.

4.3.1 Medidas avaliadas

1. Comprimento real dos dentes – CRD
2. Odontometria Eletrônica – CLEA
3. Diâmetro do Forame Maior – $\overline{AB}$
4. Diâmetro da JCD – $\overline{A'B'}$
5. Distância do FM a JCD – $\overline{A'C}$ e $\overline{B'D}$

Figura 4.6 – Pontos Anatômicos

Para a mensuração destas medidas, dois examinadores, um endodontista e outro radiologista foram previamente instruídos e utilizaram o desenho dos pontos anatômicos (Figura 4.6) como orientação na avaliação. Os examinadores puderam utilizar as ferramentas de ampliação e de modulação de nuances de cinza.

O diâmetro do FM foi realizado dos seus pontos mais extremos ($\overline{AB}$), como indicado na definição de forame apical de Kuttler (1955). O diâmetro da JCD foi realizado nos pontos de união do cimento-dentina de cada lado da raiz ($\overline{A'B'}$), porém quando da não existência do cimento, os examinadores foram orientados a quantificarem com o numeral 0 (zero). A extensão do cimento intrarradicular foi realizada medindo-se as distâncias da JCD em uma linha perpendicular ao FM dos dois lados da raiz, A ($\overline{A'C}$) e B ($\overline{B'D}$). A mesma orientação da quantificação 0 (zero) foi aplicada quando o cimento não podia ser observado. Todas as medidas foram realizadas nos cortes coronal e sagital, correspondendo aos cortes vestibulo-lingual (VL) e mésio-distal (MD).

A fim de correlacionar resultados, o CLEA foi subtraído do CRD e comparado à medida da extensão do cimento obtido com a microtomografia, para estabelecer o posicionamento da JCD, com a odontometria. As medidas obtidas foram transferidas para planilhas e analisados estatisticamente para comparar as distâncias desses diferentes pontos nos dois grupos estudados, PV e PM.

A título de ilustração, as imagens de microtomografia foram importadas para o programa Adobe® Photoshop® CS2 9.0 (Adobe Systems Incorporated, CA, USA) e identificadas com as dos cortes histológicos. Após os ajustes de ampliação e de transparência das microtomografias, ambas as imagens foram superpostas até alcançarem o máximo possível de coincidência dos bordos, para verificar a coincidência da extensão dos diferentes tecidos, dentina e cimento.

4.3.2 Análise Estatística

Todos os dados foram tabulados em planilhas e analisados por meio de estatística descritiva no programa Biostat 5.0. As médias e desvio padrão foram verificados com teste não paramétrico de Mann-Whitney (teste de Wilcoxon rank-

sum) para os grupos PV e PM, separadamente e entre si. As extensões do cimento dos lados A e B da raiz foram comparadas separadamente e em conjunto ($p \leq 0,05$).

As mensurações do ØFM, do ØJCD e das extensões do cimento dos lados A e B em micrômetros (μm) foram convertidas em milímetros (mm) somente quando correlacionadas com os demais dados obtidos por paquímetro (CRD) e odontometria eletrônica (CLEA).

Para confirmar a concordância inter-examinadores dos dados obtidos pela microtomografia, foi utilizado o coeficiente de correlação intraclasse para os grupos estudados PV e PM, com interpretação de reprodutibilidade do estudo.

5 RESULTADOS

O coeficiente de correlação intraclasse classificou a replicabilidade do estudo em excelente e de media à boa, denotando concordância substancial entre os examinadores para todos os dados de microtomografia.

5.1 COMPRIMENTO REAL DOS DENTES (CRD)

Para este estudo, as coroas dentais dos grupos PV e PM foram descartadas, as raízes foram medidas no sentido VL e MD e suas médias foram utilizadas para o estudo estatístico.

Apesar da grande variabilidade dos grupos dentais estudados, as médias e os desvios padrão do comprimento das raízes dos grupos PV e PM foram $12,59 \pm 2,07\text{mm}$ e $11,62 \pm 1,93\text{mm}$ respectivamente (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Comprimento real dos dentes (CRD)(mm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	12,59mm	$\pm 2,07\text{mm}$
Polpa Morta	11,62mm	$\pm 1,93\text{mm}$

5.2 ODONTOMETRIA ELETRÔNICA (CLEA)

As médias e os desvios padrão de odontometria obtidos pelo LEA nos dois grupos PV e PM foram $11,05 \pm 2,06\text{mm}$ e $10,15 \pm 2,05\text{mm}$, respectivamente (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Odontometria eletrônica (CLEA) (mm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	11,05mm	$\pm 2,06\text{mm}$
Polpa Morta	10,15mm	$\pm 2,05\text{mm}$

As médias do CRD menos as medidas do CLEA mostrou que o posicionamento da JCD a 1,0mm esteve a uma distância média de $1,55 \pm 0,58\text{mm}$ para o grupo PV, e $1,57 \pm 0,36\text{mm}$ para o grupo PM (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Subtração do CRD e CLEA (mm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	1,55mm	$\pm 0,58\text{mm}$
Polpa Morta	1,57mm	$\pm 0,36\text{mm}$

Portanto, o posicionamento da JCD mostrou distâncias similares nos dois grupos estudados, PV e PM.

5.3 DIÂMETRO DO FORAME MAIOR

Nas microtomografias dos dentes investigados, as médias dos grupos PM e PV nos eixos coronal e sagital foram calculadas e o teste de Mann-Whitney foi aplicado.

As médias e os desvios padrão estão apresentados na tabela 5.4 e os valores máximo e mínimo ilustrados no gráfico 5.1. Os maiores diâmetros do FM foram encontrados no grupo PM com média de $630,54 \pm 140,99\mu\text{m}$. No entanto, os

valores máximo e mínimo para ambos os grupos não mostraram diferença estatisticamente significativa ($p = 0,5839$).

Tabela 5.4 - Diâmetro do Forame Maior (μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	619,325 μm	$\pm 201,61\mu\text{m}$
Polpa Morta	630,542 μm	$\pm 140,99\mu\text{m}$

Gráfico 5.1- Comparação ØFM - PV X PM

5.4 EXTENSÃO DO CEMENTO NO CANAL RADICULAR

A extensão média do cimento radicular foi observada para cada um dos lados da raiz, A e B, em conjunto com os cortes sagital e coronal, para os dois examinadores. Um total de 84 mensurações por examinador no grupo PV mostrou extensão média de $351,94 \pm 126,15\mu\text{m}$ para o lado A, e $280,53 \pm 75,00\mu\text{m}$ para o lado B, que estão apresentadas na tabela 5.5 e os valores máximo e mínimo ilustrados no

gráfico 5.2; e com 80 mensurações por examinador no grupo PM mostrou extensão média de $321,85 \pm 181,08 \mu\text{m}$ para o lado A, e $327,09 \pm 158,74 \mu\text{m}$ para o lado B, que estão apresentadas na tabela 5.6 e os valores máximo e mínimo ilustrados no gráfico 5.3.

Tabela 5.5 - Extensão do cimento para Polpa Viva (μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Lado A	$351,94 \mu\text{m}$	$\pm 126,15 \mu\text{m}$
Lado B	$280,53 \mu\text{m}$	$\pm 75,00 \mu\text{m}$

Gráfico 5.2 - Extensão do cimento lado A e B - PV

Tabela 5.6- Extensão do cimento para Polpa Morta (μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Lado A	$321,85 \mu\text{m}$	$\pm 181,08 \mu\text{m}$
Lado B	$327,09 \mu\text{m}$	$\pm 158,74 \mu\text{m}$

Gráfico 5.3 - Extensão do cimento lado A e B - PM

Podemos observar que o lado A mostrou extensões maiores do que o lado B nos casos de polpa viva, diferentemente dos casos de polpa mortificada. O teste de Mann-Whitney mostrou diferença estatisticamente significativa para o grupo PV ($p = 0,0380$), e sem diferença estatisticamente significativa para o grupo PM ($p = 0,6263$).

As médias dos grupos PV e PM somente do lado A para os cortes sagital e coronal estão apresentadas na tabela 5.7 e os valores máximo e mínimo ilustrados no gráfico 5.4.

Tabela 5.7 - Comparação entre Polpa Viva e Morta - Lado A(μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	351,94 μm	$\pm 126,15\mu\text{m}$
Polpa Morta	321,85 μm	$\pm 181,08\mu\text{m}$

Gráfico 5.4 - Extensão do cimento lado A - PV X PM

Quando analisado somente o lado A para os grupos PV e PM, o teste de Mann-Whitney mostrou que a extensão do cimento no grupo PM, apesar de menores, com $p = 0,2203$, não apresentaram diferença estatisticamente significativa.

As médias dos grupos PV e PM somente do lado B estão apresentadas na tabela 5.8 e os valores máximo e mínimo ilustrados no gráfico 5.5.

Tabela 5.8 - Comparação entre Polpa viva e morta - Lado B(μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	280,53 μm	$\pm 75,00\mu\text{m}$
Polpa Morta	327,09 μm	$\pm 158,09\mu\text{m}$

Gráfico 5.5 - Extensão do cimento lado B - PV X PM

Quando analisado somente o lado B para PV e PM, o teste de Mann-Whitney mostrou que as extensões do cimento, apesar de maiores para os dentes PM, não apresentaram diferença estatisticamente significativa, com $p = 0,2106$.

Portanto, quando analisados somente um dos lados, A ou B, os dados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa.

As médias dos grupos PV e PM para os lados A e B estão apresentadas na tabela 5.9 e ilustradas no gráfico 5.6.

Tabela 5.9 – Extensão do cimento lado A e B - Polpa Viva X Morta(μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	316,24 μm	$\pm 100,57\mu\text{m}$
Polpa Morta	324,77 μm	$\pm 169,90\mu\text{m}$

Gráfico 5.6 - Extensão do cimento lado A e B - PV X PM

Quando da análise conjunta dos dados, lados A e B, para PV e PM, estes não apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p=0,8962$) no entanto, apresentaram os menores valores para a polpa morta.

5.5 COMPARAÇÕES DAS DISTÂNCIAS DA JCD POR PAQUÍMETRO E ODONTOMETRIA ELETRÔNICA VERSUS MICRO-TC

As médias e os desvios padrão das distâncias obtidas para a JCD pela subtração do CRD (paquímetro) pelo CLEA (odontometria eletrônica) e as distâncias por micro-TC estão apresentadas na tabela 5.10 e os valores máximo e mínimo ilustrados nos gráficos 5.7 e 5.8, expressos em milímetros.

Tabela 5.10 – Subtração do CRD e CLEA X Micro-TC (mm)

	<i>Paquímetro – Odontometria Eletrônica</i>	<i>Micro-TC JCD</i>
Polpa Viva	1,55±0,58mm	0,32±0,1mm
Polpa Morta	1,57±0,36mm	0,32±0,2mm

Gráfico 5.7 – A JCD por Odontometria (CRD - CLEA) (PV X PM)

Gráfico 5.8 - A JCD por Micro-TC (PV X PM)

O teste de Mann-Whitney foi aplicado em conjunto para os dois grupos PV e PM nas diferentes metodologias: para a odontometria, com $p = 0,6110$, e para a micro-TC, com $p = 0,8962$, portanto, sem diferença estatisticamente significativa para ambas as metodologias.

No entanto, quando da análise em separado, os dados do grupo PV e PM mostraram que a extensão média do cimento foi maior para o grupo PV, com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) (Gráficos 5.9 e 5.10).

Gráfico 5.9 – Comparação odontometria X micro-TC - PV

Gráfico 5.10 – Comparação odontometria X micro-TC – PM

5.6 DIÂMETRO DA JCD

A média do diâmetro do canal radicular na junção cimento-dentina, $\varnothing$ JCD, para os dois examinadores e para os dois grupos, PV e PM, foi calculada e o teste de Mann-Whitney para amostras independentes foi aplicado. As médias e os desvios padrão estão apresentados na tabela 5.11 e os valores máximo e mínimo ilustrados no gráfico 5.11.

Tabela 5.11 - Diâmetro da JCD (μ m)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
Polpa Viva	330,0928 μ m	$\pm 100,3614\mu$ m
Polpa Morta	334,20 μ m	$\pm 129,5307\mu$ m

Gráfico 5.11 - Diâmetro da JCD - PV X PM

O diâmetro médio da JCD foi $330,09 \pm 100,36 \mu$ m para o grupo PV, e $334,20 \pm 129,53 \mu$ m para o grupo PM, sem diferença estatisticamente significativa. Portanto, para os dois grupos estudados, o $\varnothing$ JCD foi similar ($p = 0,8246$).

O teste de Mann-Whitney também foi aplicado para determinar se o diâmetro do FM e o diâmetro da JCD obtiveram a mesma média para os dois grupos

estudados. As médias e os desvios padrão estão apresentados na tabela 5.12 e os valores máximo e mínimo ilustrados no gráfico 5.12 para o grupo PV, e na tabela 5.13 e no gráfico 5.13 para o grupo PM. O teste revelou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) para ambos os grupos PV e PM.

Tabela 5.12 - Comparação ØFM x ØJCD - PV(μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
ØFM	619,325 μm	$\pm 201,610\mu\text{m}$
ØJCD	330,09 μm	$\pm 100,361\mu\text{m}$

Gráfico 5.12 - ØFM x ØJCD - PV

Tabela 5.13 - Comparação ØFM x ØJCD - PM(μm)

	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>
ØFM	630,5425 μm	$\pm 140,99\mu\text{m}$
ØJCD	334,199 μm	$\pm 129,53\mu\text{m}$

Gráfico 5.13 - ØFM x ØJCD - PM

Ficou demonstrado, assim, que as medições de diâmetro tendem a ser diferentes em ambos os pontos anatômicos, para os dois grupos PV e PM.

5.7 CORRELAÇÕES ENTRE IMAGENS DE MICRO-TC COM CORTES HISTOLÓGICOS

Com o intuito de elucidar a metodologia da microtomografia, algumas imagens foram sobrepostas às imagens dos cortes histológicos.

Em relação às imagens investigadas, encontrou-se alta correlação entre as imagens de cortes histológicos e as obtidas por microtomografia.

A figura 5.1a mostra um corte histológico coronal (VP) da raiz mésio-vestibular de um dente primeiro molar superior, no qual a parede do canal à esquerda mais apical possui menor espessura de cimento se comparada à parede

oposta, assim como na microtomografia, Figura 5.1b. É também possível correlacionar o cimento ao longo da raiz.

Na figura 5.2a (raiz palatina de um dente primeiro molar superior), pode-se notar esta mesma correlação dos diferentes tecidos, dentina e cimento, sendo que, na luz do canal, se nota uma dilaceração à esquerda do corte histológico, muito provavelmente pela descalcificação que a metodologia exige, o que não se observa na microtomografia, figura 5.2b.

A sobreposição das imagens, figuras 5.1c e 5.2c, mostram exemplos da similaridade da espessura do cimento e da dentina, assim como detalhes dos bordos da porção mais apical.

Figuras 5.1 e 5.2: a-Corte histológico; b-Microtomografia; c-Sobreposição das imagens

Nas figuras 5.3a, b, c (dente incisivo central superior) e 5.4a, b, c (dente segundo molar superior), ambos, cortes no sentido coronal são exemplos de PV e PM, respectivamente. Apesar da não-coincidência em toda a extensão dos bordos, há uma grande correlação da espessura do cimento, observando-se os diferentes tecidos, dentinário e cementário.

Figuras 5.3 e 5.4: a-Corte histológico; b-Microtomografia; c-Sobreposição das imagens

Todas as raízes foram submetidas a cortes histológicos, no entanto, algumas foram perdidas durante o processo de corte ou não atingiram a emergência foraminal para que pudessem ser correlacionadas. Mais exemplos encontram-se nos Apêndices I e J (páginas 75 e 76).

6 DISCUSSÃO

A terapia endodôntica é um processo que requer, além do domínio da técnica empregada, o conhecimento da anatomia interna do sistema de canais radiculares, em especial do complexo anatômico apical.

Tal conhecimento envolve o reconhecimento de pontos anatômicos de referência como o canal cementário, a constrição apical (CA), a junção cimento-dentina (JCD) e o forame apical ou forame maior (FM), para a correta determinação do limite apical de instrumentação e de obturação do canal radicular.

A junção cimento-dentina, em que o tecido pulpar encontra o tecido periodontal, tem sido considerado o limite ideal apical do comprimento de trabalho e de obturação, desde os estudos de Grove (1928).

Esta é a parte mais estreita do canal radicular, com o menor diâmetro de suprimento sanguíneo, e o preparo até este ponto, resulta em uma pequena ferida, oferecendo uma melhor condição de cura (Ricucci; Langeland, 1998).

No entanto, a determinação exata da JCD, ou seja, do término do canal radicular é de difícil, senão impossível, definição na clínica (Gordon; Chandler, 2004; Dummer et al., 1984), além de não ser um ponto constante e consistente.

As alterações apicais são influenciadas pela idade, cargas fisiológicas, trauma, movimentação ortodôntica, patologia perirradicular ou doença periodontal (Kuttler, 1955; Mizutani et al., 1992; Morfis et al., 1994; Hassanien et al., 2008). Alterações estas que podem resultar em reabsorção e deposição irregular de cimento apical, provocando, conseqüentemente, desvios, ampliação do forame maior e encurtamento ou distanciamento da JCD em relação ao FM (Blaskovic-Subat et al., 1992).

A extensão longitudinal do canal dentinário, apesar de ser motivo de pesquisas no último século, e ainda neste, é foco de muita discordância no campo da anatomia dental como também na clinica endodôntica. Para entender sua base anatomo-biológica importante se faz compreender as condições prévias de vitalidade, grau de inflamação ou de necrose pulpar para melhor avaliar a condição anatômica apical com o intuito de melhorar a cicatrização dos tecidos periapicais (Bergenholtz; Spångberg, 2004).

Com relação aos recursos tecnológicos que auxiliam a determinação do limite apical durante os procedimentos operatórios clínicos, podemos citar as tomadas radiográficas e os localizadores eletrônicos apicais (LEAs).

As radiografias possuem algumas limitações, e o mais importante é que não definem a JCD, a constrição apical e nem mesmo a localização do forame apical, pois se sabe que este não coincide com o ápice radicular, estando na quase totalidade dos casos para-apicalmente.

Por sua vez, os LEAs são um excelente complemento para radiografia, pois podem auxiliar na determinação da distância do forame apical, mesmo nas situações para-apicais. Pesquisas mostram que o desenvolvimento de localizadores com impedância-frequência-dependente, os quais realizam a diferença de impedância entre duas frequências, eliminou muitas deficiências que impediam a precisão do método quando por corrente contínua (Kobayashi; Suda, 1993; Kobayashi; Suda, 1994).

Os LEAs disponíveis tornaram-se mais precisos e confiáveis sendo essenciais para medir o comprimento do canal, mesmo na presença de diferentes irrigantes (Elayouti et al., 2005; Plotino et al., 2006a; Bernardes et al., 2007; D'Assunção et al., 2007; Kim et al., 2008).

No entanto, não temos como localizar esses pontos durante o tratamento endodôntico, já que a percepção espacial destes pontos nos vários momentos da terapia endodôntica fica a critério do conhecimento e habilidade do profissional.

Como a microtomografia permite um estudo não invasivo, não destrutivo de amostras (Gambill et al., 1996) com cortes nos 3 eixos: sagital, axial e coronal, possibilitando uma interpretação 3D, esta pode contribuir para superar algumas das desvantagens dos métodos geralmente utilizados, auxiliando o estudo espacial da anatomia apical.

Ademais, a alta resolução das imagens de micro-TC, na ordem de 6,7 μ m, com os parâmetros utilizados neste estudo, permitiu a diferenciação dos tecidos cementário e dentinário (Apêndice K, página 77). Assim, as imagens obtidas e avaliadas com programa específico possibilitaram o estudo dos pontos anatômicos apicais.

Foi possível utilizar dentes recém extraídos, que não foram selecionados quanto ao grupo dentário ao qual pertenciam ou segundo a idade do paciente, como

em estudos anteriores (Kuttler, 1955; Ponce; Fernandez, 2003) mas, segundo a vitalidade pulpar presente ou não, com o intuito de verificar se a microtomografia podia diferenciar e mensurar os tecidos radiculares independentemente da patologia presente.

Neste estudo, examinamos e medimos a distância da JCD nos cortes de imagens 3D no sentido coronal (VL) e sagital (MD), assim como os diâmetros do forame apical ou maior (FM) e da JCD.

Quando da análise da localização da JCD em função da extensão do cimento intrarradicular verificou-se que a extensão cementária de cada dente foi diferente do lado A e B, exibindo valores com grandes variações, de 100µm e 1000µm, intervalos já observados em estudos anteriores (Ponce; Fernandez, 2003; Olson et al., 2008).

No entanto, quando os dados foram agrupados, a distância média de 320µm (0,32mm) foi observada para os dois grupos estudados, PV e PM, sem diferença estatisticamente significativa. Esses resultados foram similares aos encontrados por Hassanien (2008), com distância média de 300µm (0,3mm), e diferentes dos resultados obtidos quando comparados dentes de pessoas jovens (524µm) e de pessoas mais velhas (659µm), ou diferentes grupos dentários (834µm), que mostraram médias maiores (Kuttler, 1955; Altman et al., 1970; Ponce; Fernandez, 2003; Marroquin et al., 2004; Olson et al., 2008).

Esses resultados talvez possam ser explicados pelo fato de esses estudos analisarem os dentes em um só plano, enquanto em nossas observações fomos capazes de analisar as extensões de cimento nos dois lados da raiz e em dois planos distintos (sagital e coronal), resultando em dados mais homogêneos. Assim, quando da análise geral dos resultados, a constância de dados permitiu-nos inferir que o posicionamento da JCD em relação ao FM não foi influenciado pelo estado de vitalidade pulpar.

No entanto, um fator importante pode ser ressaltado neste particular: a extensão 0 (zero) ou ausência de cimento foi registrada somente nos casos de polpa morta. Muito provavelmente esse fato se justifica por reabsorções cementárias que não foram visíveis radiograficamente, quer pelo posicionamento palatino ou lingual da reabsorção, quer pela pouca resolução do filme radiográfico. A micro-TC

de alta resolução pode analisar com clareza tais reabsorções. Um exemplo encontra-se ilustrado no Apêndice L (página 78).

Ainda na análise das microtomografias, foi possível medir a extensão do cimento dos dois lados da raiz (lados A e B) nos cortes coronal e sagital. As medidas obtidas no corte coronal foram desiguais às do corte sagital, mostrando que a JCD traça um caminho em torno da circunferência do canal de forma irregular e não em um plano retilíneo, o mesmo encontrado por Olson et al. (2008), quando estudaram por microscopia óptica cortes longitudinais de raízes.

Em relação à odontometria eletrônica a 1,0mm, nossos resultados indicam que a distância média da JCD de 1,55mm para PV e 1,57mm para PM se manteve dentro dos limites do sistema de canais radiculares, ou seja, a 0,55 e 0,57mm, nas diferentes patologias estudadas. Da mesma forma, que os resultados obtidos por Versiani et al. (2009), em que o uso do localizador a 1,0mm aquém do forame apical diminuiu o risco de superestimar o comprimento de trabalho.

Diferentemente do que Ponce e Fernandes em 2003 julgaram utópico, o limite da JCD é de mais fácil localização na clínica do que a CA, pois o uso do LEA possibilita estar perto da JCD (Hassanien et al., 2008).

Quanto ao forame apical ou FM, definido por Kuttler (1955) como a circunferência ou borda arredondada, que em forma de funil, diferencia o término do canal cementário e a superfície exterior da raiz, intercorrências podem modificar o seu diâmetro. Como por exemplo, o FM aumenta com o avanço da idade tornando o funil cementário mais aberto em direção a superfície exterior da raiz com valores de 681 μ m em média (Kuttler, 1955). Diferentes grupos dentários também podem apresentar diferenças com valores de 354 μ m a 570 μ m para dentes anteriores (Ponce; Fernandez, 2003) e de 520 μ m para dentes posteriores adultos (Green, 1956).

No entanto, em nossas observações utilizamos uma amostra segundo a patologia pulpar existente desprezando os diferentes grupos dentários a qual pertencia, que mostrou valores similares sem diferença estatisticamente significativa para os grupos PV (619 μ m) e PM (630 μ m), demonstrando assim que a análise conjunta de dados obtidos em dois planos diferentes (sagital e coronal) pode mostrar resultados mais homogêneos, independente da patologia referida.

A variação do diâmetro da JCD no presente estudo demonstrou a mesma tendência encontrada em diferentes investigações (Kuttler, 1955; Stein; Corcoran, 1990; Ponce; Fernandez, 2003; Hassanien et al., 2008) de 210 μ m a 350 μ m, mostrando que tal fato independe da determinação das amostras ou da metodologia empregada. Nossos resultados indicam a média de 330 μ m (0,33mm) para os grupos PV e PM, sem diferença estatisticamente significativa.

Todavia, quando se avalia a diferença de diâmetro do FM e da JCD, a forma cônica do canal cementário obtida foi a mesma encontrada por Kuttler (1955), Green (1956), Pineda e Kuttler (1972), determinando, assim, um possível mapeamento da anatomia desta área.

Para verificar o resultado das imagens de microtomografia, as imagens das raízes preparadas para avaliação histológica foram sobrepostas até o máximo de coincidência dos bordos. Essa mesma metodologia foi usada por Jung et al. (2005b) na avaliação da obturação radicular.

A melhor imagem de microtomografia, sagital ou coronal, foi selecionada por semelhança com a imagem do corte histológico dependendo da direção do corte realizado, VL ou MD.

A sobreposição das imagens mostrou a semelhança das estruturas apicais, bordos, espessura dos diferentes tecidos, dentinário e cementário, quer na região apical quer na da raiz, bem ilustrando a metodologia da micro-TC.

Quando comparado o processo dos cortes histológicos com a micro-TC, verifica-se ser esta uma técnica mais precisa e menos sujeita a erros humanos (Rüegsegger et al., 1996, Buchman et al., 1998), sendo considerada como método “padrão ouro” no estudo morfológico e comparativo de dentes, antes e depois da instrumentação endodôntica. Foi mesmo citada como um método mais fácil na determinação precisa da área de interesse, sobretudo do ápice dentário (Grande et al., 2008).

Objetivando destacar a importância do conhecimento da região apical, esse segmento foi conceituado como “zona crítica apical”, em que ocorre a maioria dos problemas clínicos durante o tratamento endodôntico: sobre-instrumentação, sobre-obturação, sub-instrumentação, sub-obturação, desvio e transporte do canal radicular (Glassman; Serota, 2001; Serota et al., 2003), alterações morfológicas essas, que talvez possam ser exploradas pela micro-TC.

Apesar da sua importância, no entanto, o número de estudos que abrangem a anatomia e o diâmetro da região apical é limitado (Baugh; Wallace, 2005).

Parece oportuno que seja feito um estudo mais aprofundado já que as microtomografias são um complemento útil de pesquisa da anatomia apical, pois apresentam vantagens em comparação com as técnicas anteriormente utilizadas, que devem ser consideradas: a técnica é totalmente não-destrutiva e reproduzível; nenhum corte ou tipo de preparo necessita ser realizado nas amostras, o que poderia comprometer os resultados; pode ser complementada por outros métodos, utilizando as mesmas amostras; a variabilidade do número de cortes permite observações detalhadas das amostras tridimensionalmente; cálculos matemáticos computacionais são mais precisos e menos sujeitos a erros humanos.

7 CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos no presente trabalho, podemos concluir que:

A hipótese nula testada – se a posição anatômica da JCD em função da extensão do cimento depende do estado de vitalidade pulpar – foi rejeitada.

A JCD, independente da vitalidade pulpar, polpa viva ou mortificada, não apresentou diferença estatisticamente significativa em relação à posição anatômica. No entanto, apresentou um posicionamento irregular em torno da circunferência do canal.

Os diâmetros da JCD e do FM ou anatômico não apresentaram diferenças estatisticamente significativa quer para polpa viva como mortificada.

As medidas realizadas pelo localizador apical, a 1,0mm aquém, garantiu o estabelecimento do limite dentro do canal dentinário.

REFERÊNCIAS¹

Abou-Rass M, Robert JJ. The use of rotary instruments as auxiliary aids to root canal preparation of molars. *J Endod*. 1982 Feb;8(2):78-82.

Aggarwal V, Singl M, Logani A, Shah N. Endodontic management of a maxillary first molar with two palatal canals with the aid of spiral computed tomography: A Case Report. *J Endod*. 2009 Jan;35(1):137-9.

Altman M, Guttuso J, Seidberg BH, Langeland K. Apical root anatomy of human maxillary central incisors. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1970 Nov;30(5):694-9.

Balto K, Müller R, Carrington DC, Dobeck J, Stashenko P. Quantification of periapical bone destruction in mice by micro-computed tomography. *J Dent Res*. 2000 Jan;79(1):35-40.

Barker BC, Lockett BC, Parsons KC. The demonstration of root canal anatomy. *Aust Dent J*. 1969 Feb;14(1):37-41.

Barletta FB, Rahde NM, Limongi O, Moura AAM, Zanesco C, Mazocatto G. In vitro comparative analysis of 2 mechanical techniques for removing gutta-percha during retreatment. *J Can Dent Assoc*. 2007Feb; 73(1):65- 65e.

Barrett MT. Internal anatomy of teeth with special reference to the pulp with its branches. *D Cosmos*. 1925;67:581-92.

Baugh D, Wallace J. The role of apical instrumentation in root canal treatment: a review of the literature. *J Endod*. 2005 May;31:333-40.

Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J*. 2001 Jul;34(5):390-8.

Bernardes RA, Duarte MA, Vasconcelos BC, Moraes IG, Bernardineli N, Garcia RB. Evaluation of precision of length determination with 3 electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, and RomiAPEX D-30. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007 Oct;104(4):91-4. Epub 2007 Aug 20.

Bergenholtz G, Spångberg L. Controversies in endodontics *Crit. Rev. Oral Biol. Med*. 2004 Jan;15(2):99-114.

Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J*. 1999 Jan;32(1):3-9.

¹De acordo com Estilo Vancouver.

Blaskovic-Subat V, Maricic B, Sutalo J. Asymmetry of the root canal foramen. *Int Endod J*. 1992 May;25(3):158-64.

Buchman SR, Sherick DG, Goulet RW, Goldstein SA. Use of microcomputed tomography scanning as a new technique for the evaluation of membranous bone. *J Craniofac Surg*. 1998 Jan;9(1):48-54.

Burch JG, Hulen S. The relationship of the apical foramen to the anatomical apex of the tooth root. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1972 Aug;34(2):262-8.

Cailleteau JG, Mullaney TP. Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools. *J Endod*. 1997 Jun;23(6):394-6

Cheng R, Zhou XD, Liu Z, Hu T. Development of a finite element analysis model with curved canal and stress analysis. *J Endod*. 2007 Jun;33(6):727-31. Epub 2007 Apr 9.

Cheung GSP, Yang J, Fan B. Morphometric study of the apical anatomy of C-shaped root canal systems in mandibular second molars. *Int Endod J*. 2007 Apr;40(4):239-46. Epub 2007 Feb 1.

Cheung LHM, Cheung GSP. Evaluation of a Rotary Instrumentation Method for C-shaped Canals with Micro-computed Tomography. *J Endod*. 2008 Oct;34(10):1233-8. Epub 2008 Aug 23.

Coolidge ED. Anatomy of the root apex in relation to treatment problems. *J Am Dent Assoc*. 1929;17(2):1456-65.

D'Assunção FL, Albuquerque DS, Salazar-Silva JR, Queiroz Ferreira LC, Bezerra PM. The accuracy of root canal measurements using the Mini Apex Locator and Root ZX-II: an evaluation in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007 Sep;104(3):e50-3.

Davis GR, Wong FS. X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiol Meas*. 1996 Aug;17(3):121-46.

Dowker SEP, Davis GR, Elliott JC, Wong FS. X-ray microtomography: 3-dimensional imaging of teeth for computer-assisted learning. *Eur J Dent Educ*. 1997a May;1(2):61-5.

Dowker SEP, Davis GR, Elliott JC. X-ray microtomography: Nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1997b Apr;83(4):510-6.

Dummer PMH, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical root canal constriction and apical foramen. *Int Endod J*. 1984 Oct;17(4):192-8.

Ebrahim Al, Wadachi R, Suda H. Electronic apex locators — A Review. *J Med Dent Sci*. 2007;54:125-36.

Elayouti A, Kimionis I, AL Chu AL, Löst C. Determining the apical terminus of root-end resected teeth using three modern apex locators: a comparative ex vivo study. *Int Endod J*. 2005 Nov;38(11):827-33.

Elayouti A, Weiger R, Lost C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod*. 2001 Jan;27(1):49-52.

Elliott JC, Dover SD. X-ray microtomography. *J Microscopy*. 1982;126(2):211-3.

Elliott JC, Dover SD. Three-dimensional distribution of mineral in bone at a resolution of 15 micron determined by x-ray microtomography. *Metab Bone Dis Relat Res*. 1984;5(5):219-21.

Fan B, Cheung GS, Fan M, Gutmann JL, Bian Z. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I - Anatomical features. *J Endod*. 2004a Dec;30(12):899-903.

Fan B, Cheung GS, Fan M, Gutmann JL, Fan W. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part II - Radiographic features. *J Endod*. 2004b Dec;30(12):904-8.

Fan B, Yang J, Gutmann JL, Fan M. Root Canal systems in mandibular first premolars with C-shaped root configurations. Part I: Microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. *J Endod*. 2008 Nov;34(11):1337-41. Epub 2008 Sep 12.

Fischer G. Present status of root canal treatment in relation to the minute anatomy of root canals in man, especially at the apical foramen. *D Cosmos*. 1907 Jan;44:722.

Fröner, IC, Rodrigues HH. Impression of root canals. Technic using vinyl acetate RGO. 1987 Sep-Oct;35(5):368-72.

Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography *J Endod*. 1996 Jul;22(7):369-75.

Gao Y, Peters OA, Wu H, Zhou X. An application framework of three-dimensional reconstruction and measurement for endodontic research. *J Endod*. 2009 Feb; 35(2):269-74.

Glassman GD, Serota KS. A predictable protocol for the biochemical cleansing of the root canal system. *Oral Health*. 2001Jul;91(7):19-22.

Gluskin AH, Brown DC, Buchanan LS. A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *Int Endod J*. 2001 Sep;34(6):476-84.

Gordon MPJ, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J*. 2004 Jul; 37(7):425-37.

Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Micro-computerized tomographic analysis of radicular and canal morphology of premolars with long oval canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008 Sep;106(3):e70-6. Epub 2008 Jul 7.

Green, D. A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1956 Nov;9(11):1224-32.

Green, D. Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1960 Jun;13:728-33.

Grove CJ. A new simple standardized technique producing perfect fitting impermeable root canal fillings extended to the dentinocemento junction. *Dent Items Interest*. 1928 Nov;50:855-7.

Guillaume B, Lacoste JP, Gaborit N, Brossard G, Cruard A, Baslé MF, Chappard D. Microcomputed tomography used in the analysis of the morphology of root canals in extracted wisdom teeth. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2006 Jun;44(3):240-4. Epub 2005 Jul 1.

Hammad M, Qualthrough A, Silikas N. Evaluation of root canal obturation: a three-dimensional in vitro study. *J Endod*. 2009 Apr;35(4):541-4. Epub 2009 Feb 26.

Hammad M, Qualthrough A, Silikas N. Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod*. 2008 Nov;34(11):1370-3. Epub 2008 Aug 28.

Hartmann MSM, Barletta FB, Fontanella VRC, Vanni, JR. Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography. *J Endod*. 2007 May;33(8):962-5. Epub 2007 May 3.

Hassanien EE, Hashem A, Chalfin H. Histomorphometric study of the root apex of mandibular premolar teeth: an attempt to correlate working length measured with electronic and radiograph methods to various anatomic positions in the apical portion of the canal. *J Endod*. 2008 Apr;34(4):408-12. Epub 2008 Feb 7.

Hasselgren G. Where shall the root canal filling end? *N Y State Dent J*. 1994 Jun;60(6):34-5.

Hasselgren G, Tronstad L. The use of transparent teeth in the teaching of preclinical endodontics. *J Endod*. 1975 Aug;1(8):278-80.

Hess, W. Formation of root canals in human teeth. *J Nat D Society*. 1921;8:704-25.

Jin G-C, Lee S-J, Roh B-D. Anatomical study of C-shaped canals in mandibular second molars by analysis of computed tomography. *J Endod*. 2006 Jan;32(1):10-3.

Jung IY, Seo MA, Fouad AF, Spångberg LS, Lee SJ, Kim HJ, Kum KY. Apical anatomy in mesial and mesiobuccal roots of permanent first molars. *J Endod*. 2005a May;31(5):364-8.

Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int J Endod*. 2005b Sep;38(9):617-26.

Kang JA, Kim SK. Accuracies of seven different apex locators under various conditions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008 Oct;106(4):e57-62. Epub 2008 Jul 7.

Kasahara E, Yasuda E, Yamamoto A, Anzai M. Root canal system of the maxillary central incisor. *J Endod*. 1990 Apr;16(4):158-61.

Kim E, Marmo M, Lee C, Oh N, Kim I. An in vivo comparison of working length determination by only root-ZX apex locator versus combining root-ZX apex locator with radiographs using a new impression technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008 Apr;105(4):e79-83.

Kobayashi C, Suda H. Newly designed electronic canal length measuring device using division method. *Int Endod J*. 1993;26:21.

Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod*. 1994 March 20(3):111-4

Kuttler, Y. Microscopic investigation of root apices. *J Am Dent Assoc*. 1955;50(5):544-52.

Lee J-K, Ha B.-H, Choi J-H, Heo S-M, Perinpanayagam, H. Quantitative three-dimensional analysis of root canal curvature in maxillary first molars using micro-computed tomography. *J Endod*. 2006 Oct; 32(10):941-5.

Lynn EA. Conventional root canal therapy of C-shaped mandibular second molar. A case report. *N Y State Dent J*. 2006 Nov;72(6):32-4.

Madarati AA, Qualtrough AJE, Watts DC. A Microcomputed tomography scanning study of root canal space: changes after the ultrasonic removal of fractured files. *J Endod*. 2009 Jan;35(1):125-8.

Mannocci F, Peru M, Sherriff M, Cook R, Pitt Ford TR. The isthmuses of the mesial root of mandibular molars: a micro-computed tomographic study. *Int Endod J*. 2005;38(4):558-63.

Marcos-Arenal JL, Rivera EM, Caplan DJ, Martin Trope M. Evaluating the paper point technique for locating the apical foramen after canal preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009 Nov;108(5):e101-5. Epub 2009 Sep 12.

Marroquin BB, El-Sayed MAA, Willershausen-Zönnchen B. Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and Mandibular Molars. *J Endod*. 2004 May;30(5):321-8.

Martos J, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP, Castro LAS. Topographical evaluation of the major apical foramen in permanent human teeth. *Int Endod J*. 2009 Apr;42(11):329-34. Epub 2009 Feb 7.

Mirfendereski M, Roth K, Fan B, Dubrowski A, Carnahan H, Azarpazhooh A, Basrani B, Torneck CD, Friedman S. Technique acquisition in the use of two thermoplasticized root filling methods by inexperienced dental students: a microcomputed tomography analysis. *J Endod*. 2009 Nov;35(11):1512-7.

Mizutani T, Ohno N, Nakamura H. Anatomic study of the root apex in the maxillary anterior teeth. *J Endod*. 1992 Jul;18(7):344-7.

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 Feb;77(2):172-6.

Nielsen R, Alyassin A, Peters D, Carnes D, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research, *J Endod*. 1995 Nov; 21(11):561-8.

Oi T, Saka H, Ide Y. Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *Int Endod J*. 2004 Jan;37(1):46-51.

Okumura T. Anatomy of the root canals. *J Am Dent Assoc*. 1927;14(4):632-40.

Olson DG, Roberts S, Joyce AP, Collins DE, McPherson JC. Unevenness of the Apical Constriction in Human Maxillary Central Incisors *J Endod*. 2008 Feb;34(2):157-9.

Paqué F, Barbakow F, Peters OA. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J*. 2005 Jul;38(7):456-64.

Paqué F, Zehnder M, Marending M. Apical fit of initial K-files in maxillary molars assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J*. 2010 Jan;43(1):328-35.

Palmer MJ, Weine FS, Healey HJ. Position of the apical foramen in relation to endodontic therapy. *J Canad Dent Assoc (Tor)*. 1971 Aug;37(8):305-8.

Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod*. 2001a Jan;27(1):1-6.

Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J*. 2003 Feb;36(2):86-92.

Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*. 2001b Apr;34(3):221-30.

Pineda F, Kuttler Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7.275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1972 Jan;33(1):101-10.

Plotino G, Grande NM, Brigante L, Lesti B, Somma F. Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements diagnostic unit and apex locator and ProPex. *Int Endod J*. 2006a May;39(5):408-14.

Plotino G, Grande NM, Pecci R, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. *J Am Dent Assoc*. 2006b Nov;137(11):1555-61.

Ponce EH, Fernandez JAV. The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. *J Endod*. 2003 May;29(3):214-9.

Rhodes J, Pitt Ford T, Lynch P, Liepins P, Curtis R. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J*. 1999 May;32(3):165-70.

Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation. Part 1.Literature review. *Int Endod J*. 1998 Nov;31(6):384-93.

Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, Part 2. A histological study. *Int Endod J*. 1998 Nov;31(6):394-409.

Robertson D, Leeb IJ, McKee M, Brewer E. A clearing technique for the study of root canal systems. *J Endod*. 1980 Jan;6(1):421-4.

Rüegsegger P, Koller B, Müller R. A microtomographic system for the nondestructive evaluation of bone architecture. *Calcif Tissue Int*. 1996 Jan;58(1):24-9.

Serota KS, Nahmias Y, Barnett F, Brock M, Senia ES. Predictable Endodontic Success: The Apical control zone. *Dent Today*. 2003 May;22(5):90-7.

Simon, JHS. The apex: how critical is it? *Gen Dent*. 1994 Jul-Aug;42(4):330-4.

Somma F, Leoni D, Plotino G, Grande NM, Plasschaert A. Root canal morphology of the mesiobuccal root of maxillary first molars: A micro-computed tomographic analysis. *Int Endod J*. 2009Feb;42(2):165-74.

Stein TJ, Corcoran JF. Anatomy of the root apex and its histological changes with age. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1990 Feb;69(2):238-42.

Tachibana H, Matsumoto K. Applicability of X-ray computerized tomography in endodontics. *Endod Dent Traumatol*. 1990 Feb;6(1):16-20

Tamse A, Kaffe I, Littner MM, Moskona D, Gavish A. Morphological and radiographic study of the apical foramen in distal roots of mandibular molars. Part II. The distance between the foramen and the root end. *Int Endod J*. 1988 May;21(3):211-7.

Versiani MA, Santana BP, Caram CM, Pascon EA, Souza CJA, Biffi JCG. Ex vivo comparison of the accuracy of Root ZX II in detecting apical constriction using different meter's reading. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;108(7):e41-5.

Vier FV, Figueiredo JAP. Prevalence of different periapical lesions associated with human teeth and their correlation with the presence and extension of apical external root resorption. *Int Endod J*. 2002 Aug; 35(8):710-9.

Williams CB, Joyce AP, Roberts S. Comparison between in vivo radiographic working length determination and measurement after extraction. *J Endod*. 2006 Jul;32(7):624-7.

Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2000 Jan;89(1):99-103.

Yu DC, Tam A, Schilder H. Root canal anatomy illustrated by microcomputed tomography and clinical cases. *Gene Dent*. 2006 Sep;54(5):331-5.

Zakizadeh P, Marshall SJ, Hoover CI, Peters OA, Noblett WC, Gansky SA, Goodis HE. A novel approach in assessment of coronal leakage of intraorifice barriers: a saliva leakage and micro-computed tomographic evaluation. *J Endod*. 2008 Jul;34(7):871-5.

APÊNDICE - A Medidas Micro- CT(μ m)- Polpa Viva – Examinador 1

Amostra	dente	FM(Cor)	FM(Sag)	JCD(Cor)	JCD(Sag)	ext(Cor)A	ext(Cor)B	ext(Sag)A	ext(Sag)B
PV04	44	463,1	542,5	225	344	158,8	145,6	238,2	178,6
PV46	32	661,6	688,1	264,7	370,5	211,7	211,7	449,9	330,8
PV47	31	436,7	555,8	330,8	317,6	238,2	185,3	185,3	251,4
PV50	22	317,6	595,5	291,1	423,4	317,6	198,5	489,6	357,3
PV42	32	659,4	686,3	262,5	268,3	209,5	212,9	447,7	332,2
PV45	42	468,6	348,4	204,3	384,5	360,5	300,4	288,4	396,5
PV22	11	858,6	1343,5	282,8	303,3	515,2	272,7	707,1	525,3
PV41	44	465,3	544,7	223	346	160,2	147,8	240,4	180,8
PV49	21	727,3	929,3	737,4	474,8	232,3	181,8	444,5	353,5
PV32	35	1202,1	1171,8	767,7	798	262,6	272,7	575,8	151,5
PV51	23	596	954,6	292,9	464,7	292,9	287,9	910,2	328,3
PV44	34	661,6	641,8	370,5	344	158,8	244,8	238,2	185,3
PV17	25	741	860,1	357,3	357,3	926,3	794	436,7	291,1
PV23	12	562,4	886,6	350,7	363,9	172	277,9	469,8	337,4
PV05	33	635,2	595,5	304,4	198,5	264,7	317,6	211,7	238,2
PV25	26mv	416,8	529,3	311	403,6	191,9	387,3	595,5	344
PV26	26dv	377,1	172	311	218,3	456,5	172	304,4	158,8
PV18	26mv	595,5	866,7	244,8	344	363,9	211,7	324,2	324,2
PV27	26p	964,1	550	203,7	298,7	359,9	251,2	305	292
PV01	36mv	325,9	380,2	230,8	149,4	258	217,3	217,3	230,8
PV12	36ml	339,5	516	244,4	176,5	285,2	176,5	271,6	298,7

APÊNDICE - B Medidas Micro- CT(μ m)- Polpa Morta – Examinador 1

Amostra	dente	FM(Cor)	FM(Sag)	JCD(Cor)	JCD(Sag)	ext(Cor)A	ext(Cor)B	ext(Sag)A	ext(Sag)B
PM07	21	710,2	919,1	376	933	459,5	431,7	167,1	292,4
PM39	23	595,5	542,5	277,9	436,7	463,1	714,6	172	370,5
PM32	14	741	807,2	330,8	489,6	330,8	158,8	470,2	375,1
PM72	21	724,1	933	389,9	919,1	455,9	428,9	163,6	306,4
PM16	14v	748,6	639,3	296	278,6	435,2	261,1	539,7	748,6
PM46	14p	713,8	661,6	313,4	174,1	1027,2	870,5	800,8	905,3
PM06	11	697	949,5	272,7	424,3	616,2	262,2	262,6	323,2
PM28	14	414,2	414,2	101	414,2	656,6	656,6	717,2	171,7
PM26	14 p	394	1000	323,2	242,4	515,2	535,4	787,9	596
PM13	26	449,5	711,1	555,1	298	484,4	489,9	207,1	171,7
PM36	17p	292,6	631,3	272,2	479,8	287,9	75,8	257,6	116,2
PM15	28p	606,1	818,2	252,5	394	161,6	151,5	505,1	292,9
PM11	26mv	484,9	737,4	292,9	252,5	202	272,7	141,1	131,3
PM37	42	500	803,1	0	0	0	1111	0	116,2
PM12	26dv	258	569	0	271,3	264,7	0	105,9	119,1
PM22	18p	833,7	780,7	449,9	344	489,6	542,5	304,4	119,1
PM29	37m	198,5	410,2	145,6	145,6	397	357,3	449,9	449,9
PM30	37d	582,2	1164,5	397	158,8	172	198,5	238,2	291,1
PM21	18p	516,7	436,7	264,7	383,7	195,5	211,7	489,6	225
PM18	26mv	661,6	575,6	350,7	291,1	238,2	337,4	138,9	198,5

APÊNDICE - C Medidas Micro(µm)- CT- Polpa Viva – Examinador 2

Amostra	dente	FM(Cor)	FM(Sag)	JCD(Cor)	JCD(Sag)	ext(Cor)A	ext(Cor)B	ext(Sag)A	ext(Sag)B
PV04	44	569	542,5	377,1	324,2	191,9	218,3	383,7	350,7
PV46	32	608,7	608,7	317,6	251,4	357,3	383,7	370,5	370,5
PV47	31	555,8	595,5	211,7	277,9	211,7	185,3	172	158,8
PV50	22	397,1	502,8	330,8	397	132,3	251,4	264,7	357,3
PV42	32	621,9	621,9	321,7	307,1	383,4	357,6	277,9	251,4
PV45	42	456,6	564,7	204,8	312,4	384,5	348,4	408,5	288,4
PV22	11	828,3	1232,4	282,2	313,3	378,3	303	555,6	717,2
PV41	44	476,4	496,2	284,5	264,7	232,2	231,6	330,8	350,7
PV49	21	717,3	636,4	525,3	383,9	121,1	212,1	545,5	303,3
PV32	35	969,7	1020,2	474,2	525,3	868,7	555,6	606,1	616,2
PV51	23	525,3	888,9	292,9	560,6	181,8	308,1	823,3	287,9
PV44	34	681,5	489,6	377,5	357,3	284,5	255	344,4	251,3
PV17	25	754,3	588,2	357,3	383,7	860,1	754,3	397,3	211,7
PV23	12	456,8	727,8	251,4	436,7	277,9	191,9	357,3	291,1
PV05	33	648,4	569	291,1	330,4	277,9	317,6	225,5	264,7
PV25	26mv	410,2	522,7	330,8	403,6	211,7	377,1	549,2	357,3
PV26	26dv	397	244,8	304	145,6	449,2	145,6	231,6	125,7
PV18	26mv	483	853,7	244,8	258,3	397	238,2	317,6	271,3
PV27	26p	862,3	556,8	312,1	332,7	338,5	237,6	217,3	244,4
PV01	36mv	298,7	393,8	190,1	176,5	163	203,7	285,2	217,3
PV12	36ml	366,2	448,1	271,6	271,6	217,3	176,5	230,8	285,2

APÊNDICE - D Medidas Micro- CT(μm)- Polpa Morta – Examinador 2

Amostra	dente	FM(Cor)	FM(Sag)	JCD(Cor)	JCD(Sag)	ext(Cor)A	ext(Cor)B	ext(Sag)A	ext(Sag)B
PM07	21	682,4	919,1	403,8	933	584,9	473,5	292,4	195
PM39	23	489,6	542,5	277,9	357,3	291,1	330,8	410,2	357,3
PM32	14	635,2	621,9	423,4	608,7	383,4	423,4	211,7	158,8
PM72	21	668,4	933	431,7	905,2	581,4	468,9	297,1	208,9
PM16	14v	731,2	696,4	383	313,4	504,9	330,8	626,7	591,9
PM46	14p	452,6	591,9	313,5	278,6	940,1	644,8	835,7	905,3
PM06	11	676,8	828,3	343,3	505,1	303,3	323,3	495	353,5
PM28	14	454,6	484,9	262,6	0	525,3	646,5	0	0
PM26	14 p	373,8	939,4	282,8	262,6	191,9	212,1	626,3	666,7
PM13	26	616,2	661,6	313,3	323,2	318,3	308,1	202	186,9
PM36	17p	303	611,1	267,7	439,4	399	101	222,3	121,2
PM15	28p	717,2	777,8	394,4	343,4	242,2	171,7	454,6	373,8
PM11	26mv	515,2	454,6	292,2	262,6	252,2	313,1	292,9	161,1
PM37	42	495	691,9	277,8	0	96	70,7	0	85,9
PM12	26dv	344	496,2	231,6	0	244,8	125,7	0	112,3
PM22	18p	992,5	807,2	344	304,4	661,6	608,7	198,5	291,1
PM29	37m	489,6	344	251,4	158,8	330,8	344	383,7	357,3
PM30	37d	648,4	463,1	317,6	264,4	476,4	397	251,4	330,8
PM21	18p	569	648,4	185,3	198,5	132,3	198,5	158,5	185,3
PM18	26mv	721,2	727,8	277,9	363,9	304,4	284,5	86	205,1

APÊNDICE - E Comprimento Real dos Dentes – Paquímetro

Polpa Viva			
Amostra	dente	CRD-MD	CRD-VL
PV04	44	15	14,98
PV46	32	15,09	14,91
PV47	31	13,7	13,63
PV50	22	12,84	12,9
PV42	32	15,08	14,8
PV45	42	14,56	14,53
PV22	11	11,83	12,06
PV41	44	14,99	14,97
PV49	21	12,42	12,45
PV32	35	11,2	11,4
PV51	23	14,78	14,74
PV44	34	14,7	14,58
PV17	25	9,97	10,06
PV23	12	12,21	12,4
PV05	33	17,25	17,34
PV25	26mv	8,76	8,74
PV26	26dv	9,78	9,67
PV18	26mv	8,91	8,92
PV27	26p	9,47	9,48
PV01	36mv	10,88	10,98
PV12	36ml	12,04	10

APÊNDICE - F Comprimento Real dos Dentes – Paquímetro

Polpa Morta			
Amostra	Dente	CRD-MD	CRD-VL
PM07	21	11,45	11,59
PM39	23	15,25	15,39
PM32	14	16,22	16,37
PM72	21	11,44	11,48
PM16	14v	15,58	15,78
PM46	14p	15,03	14,88
PM06	11	12,98	13,01
PM28	14	10,37	10,34
PM26	14 p	13,63	13,56
PM13	26p	10,5	10,48
PM36	17p	9,75	9,77
PM15	28p	10,5	10,48
PM11	26mv	9,39	9,47
PM37	42	8,41	8,5
PM12	26dv	9,75	9,82
PM22	18p	9,42	9,42
PM29	37mv	11,09	11,08
PM30	37d	11,79	11,79
PM21	18p	8,95	9,3
PM18	26mv	10,41	10,4

APÊNDICE - G Odontometria Eletrônica

Polpa Viva		
Amostra	dente	à 1mm
PV04	44	14
PV46	32	13
PV47	31	11
PV50	22	12
PV42	32	11
PV45	42	13
PV22	11	11
PV41	44	14
PV49	21	11
PV32	35	10
PV51	23	14
PV44	34	14
PV17	25	9
PV23	12	11
PV05	33	16
PV25	26mv	7
PV26	26dv	8
PV18	26mv	6
PV27	26p	8
PV01	36mv	9
PV12	36ml	10

APÊNDICE - H Odontometria Eletrônica

Polpa Morta		
Amostra	dente	à 1mm
PM07	21	10
PM39	23	14
PM32	14	15
PM72	21	10
PM16	14v	14
PM46	14p	14
PM06	11	12
PM28	14	9
PM26	14 p	12
PM13	26p	9
PM36	17p	8
PM15	28p	9
PM11	26mv	8
PM37	42	6
PM12	26dv	8
PM22	18p	8
PM29	37mv	10
PM30	37d	9
PM21	18p	9
PM18	26mv	9

APÊNDICE - I Raíz distal de um dente segundo molar inferior – corte sagital

a-Corte histológico
b-Microtomografia
c-Sobreposição das imagens

APÊNDICE - J Dente canino – corte sagital

a-Corte histológico
b-Microtomografia
c-Sobreposição das imagens

APÊNDICE - K Microtomografias nos cortes coronal, axial e sagital

Figura a- dentina (d); cimento (c)

Figura b- dentina (d); cimento (c)

APÊNDICE - L Dente incisivo central superior – corte sagital

Reabsorção do cimento por palatino.

a-Corte histológico

b-Microtomografia

c-Sobreposição das imagens

ANEXO – A Modelo de ficha de consentimento para pesquisa clínica**INSTRUMENTO DE DOAÇÃO DE DENTES****Identificação do Doador**

Nome(Legível).....

Data de Nascimento Local de Nascimento:

.....

UF:RG nº CPF nº

Endereço(Rua ou Avenida)..... nº.....e

complemento).....Cidade.....UF

CEP

Telefones para contato (.....)

E-mail

DECLARAÇÃO

Declaro ter sido esclarecido(a) sobre quais os motivos que levaram a necessidade de remoção do(s) dente(s) (código), por razões..... e concordo que os mesmos sejam utilizados na pesquisa de título "*Análise 3D da anatomia apical de dentes humanos in vitro pela microtomografia computadorizada*" - que objetiva estudar a anatomia apical.

Fui ainda esclarecido(a) pelo pesquisador que minha identidade não será divulgada por qualquer meio e que o material recolhido será utilizado unicamente para a presente pesquisa.

São Paulo, de de 200...

 Assinatura

ANEXO – B Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa - Aprovação

Universidade de São Paulo
Faculdade de Odontologia
Comitê de Ética em Pesquisa

PARECER DE APROVAÇÃO

FR – 226017
Protocolo 225/2008

Com base em parecer de relator, o Comitê de Ética em Pesquisa **APROVOU** o protocolo de pesquisa "**Análise 3D da anatomia apical de dentes humanos através da microtomografia computadorizada**", de responsabilidade do(a) Pesquisador(a) **Marcia Regina Ramalho da Silva Bardauil**, sob orientação do(a) Prof. Dr.(a) **Manoel Eduardo de Lima Machado**.

Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados a este Comitê relatórios anuais referentes ao andamento da pesquisa e ao término cópia do trabalho em "cd". Qualquer emenda do projeto original deve ser apresentada a este CEP para apreciação, de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

São Paulo, 11 de maio de 2009.

Prof. Dr. João Gualberto de Cerqueira Luz
Coordenador do CEP-FOUSP

ANEXO – B Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa - Alteração do título

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
Comitê de Ética em Pesquisa

DECLARAÇÃO

Declaramos que o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo recebeu e aceitou adendo referente ao projeto aprovado (Protocolo 225/08) para mudança do título de: "Análise 3D da anatomia apical de dentes humanos in vitro através da microtomografia computadorizada", para: **"Análise ex vivo de cortes apicais 3D de dentes humanos empregando microtomografia computadorizada"**, de responsabilidade do(a) Pesquisador(a) Marcia Regina Ramalho da Silva Bardaui, sob orientação do(a) Prof. Dr.(a) Manoel Eduardo de Lima Machado.

São Paulo, 06 de abril de 2010.

Prof. Dra. **Marcia Turolla Wanderley**
Coordenadora do CEP-FOUSP