Universidade do Brasil – UFRJ

Centro de Ciências da Saúde

Faculdade de Odontologia

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA REABSORÇÃO RADICULAR: ESTUDO *IN VITRO*

Carolina Ribeiro Starling

CD

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Odontologia da Universidade do Brasil - UFRJ, como parte dos requisitos, para a obtenção do Título de Mestre em Odontologia (Ortodontia).

Rio de Janeiro

- 2016 -

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA REABSORÇÃO RADICULAR: ESTUDO *IN VITRO*

CAROLINA RIBEIRO STARLING, CD

Orientadores: Prof. Dr. JOSÉ VINICIUS BOLOGNESI MACIEL e Prof^a. Dr^a. MARIA AUGUSTA PORTELLA GUEDES VISCONTI

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Odontologia da Universidade do Brasil -UFRJ, como parte dos requisitos, para a obtenção do Título de Mestre em Odontologia (Ortodontia).

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Marcos Alan Vieira Bittencourt, CD

Prof. Dr. Lincoln Issamu Nojima, CD

Prof. Dr. Antônio Carlos de Oliveira Ruellas, CD

Rio de Janeiro

2016

Ficha Catalográfica

STARLING, Carolina Ribeiro

Desenvolvimento de metodologia para avaliação tridimensional da reabsorção radicular: estudo *in vitro*. Rio de Janeiro: UFRJ/Faculdade de Odontologia, 2016.

xxi, 67f.

Dissertação: Mestrado em Odontologia (Ortodontia) – Universidade do

Brasil – UFRJ, Faculdade de Odontologia, 2016.

1. Reabsorção da raiz	2. Tomografia
-----------------------	---------------

3. Programas de Computação 4. Teses

I. Título

II. Dissertação (Mestrado - UFRJ/Faculdade de Odontologia)

Linha de Pesquisa	Fatores	influentes	е	resul	tados	nos
	tratament	os ortodônti	cos			
Projeto	"Desenvo	lvimento do	o pas	so-a-	passo	para
	avaliação	tridimens	ional	da	perda	de
	estrutura	nas raízes o	dos d	entes	: estudo) em
	laboratóri	0"				

Comitê de Ética Nº Permissão 1.351.052 (CEP HUCFF/UFRJ - 2015)

Aos meus amados pais, Célio Starling e Núbia Ribeiro,

por todos os ensinamentos e valores transmitidos durante a vida; por todo apoio, amor incondicional e por estarem comigo em todos os momentos; e por me oferecerem, sempre, a melhor educação possível.

Ao meu querido irmão, Vitor Ribeiro Starling,

por toda uma vida de convivência intensa, com muito companheirismo, amizade e carinho.

Ao meu grande amor, Diego Tosta Silva,

por todo amor, amizade e companheirismo; por sempre me incentivar a buscar os meus sonhos, mesmo que isso signifique distância; e por tornar minha vida mais colorida, completa e feliz.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A **Deus,** pelo dom da vida e da sabedoria, por sempre me guiar pelos melhores caminhos, me rodear pelas pessoas certas e por permitir a realização de mais um sonho.

À família Ribeiro, **minha avó Bade e meus tios e primos**, por todo apoio e pelas reuniões felizes que sempre tivemos.

Aos meus sogros e cunhados, **Marize, Raimundo, Kaique, Fábio e Marli**, por todo amor e por toda atenção que sempre me deram, vocês são minha segunda família.

Às minhas amigas, por todo amor, carinho, confiança e motivação: Bruna de França, Caroline Mathias, Cíntia Meloni, Danielle Dias, Francisca Carvalho, Giulia Geraldi e Laira Lemos. Apesar da distância, a cumplicidade e a amizade de vocês tornaram minha caminhada mais leve.

Aos meus orientadores, **Dr. José Vinicius Bolognesi Maciel e Dra. Maria Augusta Portella Guedes Visconti,** por toda atenção, disponibilidade e conhecimentos transmitidos; por todos os emails, mensagens e telefonemas; Agradeço imensamente a oportunidade de trabalhar com dois orientadores, um de cada uma das áreas que amo, Ortodontia e Radiologia. Isso, com certeza, foi muito enriquecedor para mim e para o nosso trabalho. Ao Professor **Dr. Eduardo Franzotti Sant'anna**, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Odontologia (Ortodontia), pela dedicação ao Curso e à formação dos alunos.

A todos os professores do Curso de Mestrado em Ortodontia da FO-UFRJ, Dra. Ana Maria Bolognese, Dr. Antônio Carlos de Oliveira Ruellas, Dr. Eduardo Franzotti Sant'anna, Dr. José Fernando Stangler Brazzale, Dr. José Vinícius Bolognesi Maciel, Dra. Liliane Siqueira de Moraes, Dr. Lincoln Issamu Nojima, Dra. Luciana Rougemmont Squeff, Dra. Margareth Maria Gomes de Souza, Dra. Matilde da Cunha Gonçalves Nojima e Dra. Mônica Tirre de Souza Araújo, por todos os ensinamentos de excelência, teóricos e clínicos; pela atenção e amizade; e pela contribuição preciosa na minha formação como profissional e como pessoa. Agradeço adicionalmente ao Dr. Lincoln, pela oportunidade de orientar uma aluna de iniciação científica e ao Dr. Antônio Carlos, pela grande dedicação e carinho à minha turma, após retornar ao Departamento.

Aos professores das disciplinas conexas: Dr. André Antônio Monteiro, Dr. Bruno Santos de Barros Dias, Dr. Fábio Ribeiro Guedes, Dr. Gláucio Serra Guimarães, Dra. leda Maria Orioli, Dra. Maria Augusta Portella Guedes Visconti, Dra. Maria Cynésia Medeiros de Barros Torres, Dr. Rafael Seabra Louro, Dr. Ronir Raggio Luiz e Dra. Sandra Regina Torres, por complementarem a minha formação.

Aos professores da disciplina de Anatomia do Centro de Ciências da Saúde (CCS/UFRJ), **Dra. Jane Cristina de Oliveira Faria e Dr. Fábio de Almeida Mendes,** e ao técnico do laboratório de anatomia, **Pether Neves Fernandes,** por

toda confiança, por toda ajuda e por disponibilizar os crânios secos para a realização da minha pesquisa.

Aos professores da disciplina de Radiologia Oral da FO-UFRJ, em especial à **Dra. Maria Augusta Portella Guedes Visconti** e ao **Dr. Fábio Ribeiro Guedes**, por terem disponibilizado o tomógrafo para minha pesquisa, além de todo apoio e toda ajuda do ponto de vista radiológico.

A todos os professores da Ortodontia e da Radiologia da FO-UFBA, que desde a graduação me fizeram amar essas duas áreas e muito me incentivaram para que eu realizasse meu mestrado em Ortodontia no Fundão. Em especial, agradeço ao **Dr. Marcos Alan Vieira Bittencourt**, um grande exemplo de profissional para mim, tanto na área clínica quanto na acadêmica, por todo ensinamento e amizade; e à **Dra. lêda Margarida Crusoé Rocha-Rebello**, que foi quem me mostrou o mundo científico e acadêmico pela primeira vez, na monitoria e na iniciação científica, agradeço por sempre abrir portas para mim e pelo imenso carinho.

Aos funcionários do Departamento de Ortodontia da FO-UFRJ, **Diane Esteves de Souza Gomes, Laís Monteiro, Mônica Mello do Nascimento Gonçalves e Vanilda Antônio Saturnino**, pela dedicação, pela competência e pelo suporte.

Aos meus queridos amigos de turma Adilson Tolfo de Oliveira, Laura Mello Figueiredo, Patrícia Valim Carneiro, Priscilla de Almeida Solon de Mello e Ramiro Estacia da Silveira, pelo convívio intenso desses 2 anos, pela amizade e pela cumplicidade em todos os aspectos; pelas inúmeras risadas, que alegraram meus dias; pelos nossos debates e estudos; pela nossa união dentro e fora da UFRJ. Vocês foram fundamentais para minha formação profissional e pessoal, saibam que me tornei uma pessoa melhor ao conhecer vocês. Amo todos vocês e já estou sentindo muita saudade! Agradeço adicionalmente à **Laura**, pelo abrigo no início do curso e por ter sido minha companheira de idas e vindas ao fundão nesses 2 anos.

Aos alunos da 49^a turma, Alice Spitz, Carla Juliane Lima, Fernanda Blaudt Carvalho Marques, Fernando Cardoso Brito, Lílian Siqueira de Lima e Nathália Ferrare Pinto, pela carinhosa acolhida, pela amizade, por todos os ensinamentos e por toda a disponibilidade em ajudar.

Às alunas da 51^ª turma, **Anna Paula Nigri, Bárbara Pilla Tavares, Kelly Galisteu Luiz, Larine Ferreira Lira, Mariana Lago de Salles Brasil e Mirella Lemos de Queiróz Tavares**, pela amizade e pela alegria que vocês sempre transmitiram.

Aos doutorandos, Adriele da Silveira Araújo, Alice Spitz, Amanda Carneiro da Cunha, Ana Paula Tenório de Sá, Daniel Paludo Brunetto, Fernanda Blaudt Carvalho Marques, Ilana Oliveira, Johnny de Gawn, Luciana Duarte Caldas, Rodrigo Lopes Lima e Teresa Cristina Pereira de Oliveira, pelo aprendizado, pela convivência alegre, pelas conversas, pelas risadas e pela amizade. Adicionalmente, agradeço ao Rodrigo e a Ana Paula, por toda disponibilidade em ajudar na minha pesquisa.

À aluna de iniciação científica, **Caroline Quintanilha Ferreira**, por ter me dado a oportunidade de orientá-la, contribuindo muito na minha formação com docente.

Aos **alunos da graduação** da disciplina de Ortodontia da FO-UFRJ, turmas 2015.1 e 2015.2, pela convivência, pela alegria e pela confiança nas aulas práticas, além de permitirem o exercício da docência. Aos **meus pacientes da clínica** de Ortodontia da UFRJ, pela confiança e por permitirem que eu conduzisse os seus tratamentos ortodônticos.

Ao Dr. **Antônio Cunha Porto Maia** pela valorosa colaboração na estatística dos dados deste estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante o mestrado.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

STARLING, Carolina Ribeiro. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação tridimensional da reabsorção radicular: estudo** *in vitro.* **Orientadores: Dr. José Vinícius Bolognesi Maciel e Dra. Maria Augusta Portella Guedes Visconti. Rio de Janeiro: UFRJ/Faculdade de Odontologia, 2016. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Ortodontia). 67f.**

O objetivo, neste estudo, foi propor uma metodologia de avaliação quantitativa da reabsorção radicular dos dentes, lateral e apical, através de medidas volumétricas e lineares, realizadas em segmentações tridimensionais provenientes de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). Treze dentes foram submetidos a oito aquisições tomográficas, antes e depois da simulação da reabsorção radicular, variando os valores do *voxel* entre 0,2 e 0,3 milímetros. As quatro primeiras aquisições foram realizadas em uma base de isopor, para caracterizar o grupo controle (GC), enquanto nas demais, os dentes foram inseridos nos seus respectivos alvéolos dos crânios de esqueletos humanos, estabelecendo o grupo experimental (GE). Todas as imagens foram importadas no programa *ITK-SNAP* para a segmentação semi-automática e mensuração volumétrica. Nas segmentações obtidas foram realizadas as mensurações lineares, utilizando o programa *NETFABB BASIC*. Os dentes pós-

reabsorção tiveram suas medidas reais mensuradas com paquímetro digital. Posteriormente os volumes e os comprimentos foram comparados, levando em conta todas as variáveis testadas, pelos testes Concordância de Lin, teste T de Student e Análise de Bland-Altman. O cálculo do coeficiente de correlação intraclasse intra-examinador mostrou reprodutibilidade excelente do método proposto. Tanto no volume, quanto no comprimento, quando a comparação foi feita entre os voxels, entre as bases e entre os grupos testados, houve concordância quase perfeita entre as medidas. Quanto à comparação entre antes e depois da reabsorção, em todos os dentes foi possível observar redução do valor, com diferença estatística e com coincidência entre os grupos GC e GE no *voxel* de 0,3mm, tanto para volume quanto para comprimento, porém, no *voxel* de 0,2 mm, foi encontrada apenas coincidência no comprimento. É possível avaliar, de forma precisa, acurada e reprodutível, a reabsorção radicular lateral e apical, através da TCFC e dos dois programas de segmentação e mensuração propostos. A reabsorção apical pode ser quantificada com precisão tanto com voxel de 0,2 quanto 0,3 mm. Já a reabsorção lateral é melhor quantificada com voxel de 0,3 mm. Além disso, foi possível constatar que a mensuração do volume é sensível a alterações na escala de cinza, ao contrário da mensuração do comprimento, então a padronização dos exames comparados é primordial.

SUMMARY

STARLING, Carolina Ribeiro. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação tridimensional da reabsorção radicular: estudo** *in vitro.* **Orientadores: Dr. José Vinícius Bolognesi Maciel e Dra. Maria Augusta Portella Guedes Visconti. Rio de Janeiro: UFRJ/Faculdade de Odontologia, 2016. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Ortodontia). 67f.**

The aim of this study was to propose a methodology for quantitative assessment of lateral and apical root resorption on teeth, using volumetric and linear measurements, taken from three-dimensional slices of cone beam computed tomography images (CBCT). Thirteen teeth were subjected to eight tomographic scans, before and after root resorption simulation, with voxel size varying between 0.2- and 0.3-millimeters. The first four scans were taken using a styrofoam base, characterizing the control group (CG), whereas the remaining scans were taken with teeth inserted in their respective alveoli on dry skulls, establishing the experimental group (EG). All scans were imported into ITK-SNAP software application for semi-automatic segmentation and volumetric measurement. Linear measurements were taken from the segmentations using NETFABB BASIC software program. Teeth after resorption had their actual measurements taken using a digital caliper. Volumes and lengths were later compared, considering all tested variables, using Lin's concordance correlation coefficient, Student's t-test and Bland-Altman analysis. The intraclass correlation coefficient results showed excellent intra-rater reliability for the proposed method. Both in terms of volume and length, when comparisons were made between voxels, between bases, and between tested groups, there was almost perfect agreement between measurements. A decrease in value was observed in all teeth when comparing stages before and after resorption, with statistical difference and coinciding results in CG and EG. Furthermore, there is coincidence between the actual resorption - in the control group - and the virtual resorption - in the experimental group – with the 0.3-mm *voxel*, for both volume and length, however, when the 0.2- mm voxel was used, only length displayed coincidence. It is possible to evaluate, in a precise, accurate, and reproducible manner, lateral and apical root resorption using CBCT and the two proposed software programs for segmentation and measurement. Apical resorption can be quantified accurately using both 0.2 mm- and 0.3 mm-voxels. However, lateral resorption can be better quantified using 0.3 mm-voxels. Moreover, it was possible to observe that volumetric measurements are sensitive to grayscale changes, as opposed to length measurements; therefore the standardization of exams to be compared is essential.

LISTA DE SIGLAS

3D	Tridimensional
2D	Bidimensional
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
CG	Control Group
cm	Centímetro
C.R.S.	Carolina Ribeiro Starling
DP	Desvio padrão
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
et al	e outros
EG	Experimental Group
FOV	Field of View
GC	Grupo controle
GE	Grupo experimental
GEC	Grupo experimental crânio
GEI	Grupo experimental isopor
HUCFF	Hospital Universitário Clementino Fraga Filho
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
kV	Kilovolt
mA	Miliampère

MEV	Microscópio eletrônico de varredura
mm	Milímetro / millimeters
mm³	Milímetro cúbico
Micro - TC	Micro-Tomografia Computadorizada
n	Número da amostra
Nano - TC	Nano-Tomografia Computadorizada
р	p-valor
PSM	Plano sagital mediano
PHF	Plano horizontal de Frankfurt
S	Segundos
TCFC	Tomografia computadorizada de feixe cônico
TCMD	Tomografia computadorizada de multidetectores (ou tomografia
	médica)
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UH	Unidade Hounsfield
zoom	Aumento
®	Registrado
%	Percentagem
<	Menor
≥	Maior ou igual
x	Vezes
#	Exame por TCFC
+	Positivo
-	Negativo

LISTA DE FIGURAS

DELINEAMENTO DA PESQUISA	Página
Quadro 1 - Descrição dos oito exames por TCFC realizados para cada	
dente	08
Figura 1 - Raiz do dente sendo envolvida na cera de articulação	
derretida	09
Figura 2 - Vista palatal da marcação a lápis dos dentes em seus	
respectivos alvéolos	09
Figura 3 - Crânio posicionado no simulador de acrílico de forma	
padronizada	11
Figura 4 - Base de isopor, contendo os dentes, posicionada no	
simulador de acrílico	11
Figura 5 - Simulação da reabsorção radicular. (A) Apical; (B) Lateral	12
Figura 6 - Apresentação da segmentação semi-automática do dente na	
base de isopor (GC), no programa ITK-SNAP®, sem necessidade de	
refinamento manual	14
Figura 7 – Apresentação da segmentação semi-automática do dente no	
alvéolo dentário (GE), no programa ITK-SNAP®, pós-refinamento	
manual	14
Figura 8 – Mensuração linear virtual do comprimento do molar superior	
no programa NETFABB BASIC [®]	15

Figura 9 - Mensuração linear real do comprimento do molar superior	
com paquímetro digital	16
Quadro 2 - Comparações realizadas para cada dente	16 e 17

ARTIGO 1

Quadro 1 - Descrição dos oito exames por TCFC realizados para cada	
dente	33
Quadro 2 - Comparações realizadas para cada dente	33
Figura 1 - Crânio posicionado no simulador de acrílico de forma	
padronizada	34
Figura 2 - Base de isopor, contendo os dentes, posicionada no	
simulador de acrílico	34
Figura 3 - Simulação da reabsorção radicular. (A) Apical; (B) Lateral	35
Figura 4 - Apresentação da segmentação semi-automática do dente na	
base de isopor (grupo controle), no programa ITK-SNAP [®] , sem	
necessidade de refinamento manual	35
Figura 5 - Apresentação da segmentação semi-automática do dente no	
alvéolo dentário (grupo experimental), pós-refinamento manual, no	
programa ITK-SNAP [®]	35
Figura 6 - Mensuração linear do comprimento do pré-molar inferior no	
programa NETFABB BASIC [®]	36

ARTIGO 2

Quadro 1 - Seis comparações realizadas para cada um dos 13 dentes.. 53Figura 1 - Segmentação semi-automática do dente no programa *ITK*-

SNAP®. (A) GEI, sem refinamento manual; (B) GEC, pós-refinamento	
manual	53
Figura 2 - Mensuração das extremidades do molar superior. (A)	
Mensuração virtual no Programa NETFABB BASIC®; (B) Mensuração	
real com o paquímetro digital	53
Figura 3 - Gráficos de Bland-Altman com as seis comparações	
realizadas nesse estudo	54

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1	Página
Tabela 1 - Análise descritiva dos volumes dentários nos diferentes	
tempos de aquisição; e comparações 1 e 2 dos volumes, entre os	
tempos	37
Tabela 2 - Análise descritiva dos comprimentos dentários nos diferentes	
tempos de aquisição; e comparações 1 e 2 dos comprimentos, entre os	
tempos	38
Tabela 3 - Volumes e comprimentos dentários entre os valores de voxel	
testados	39
Tabela 4 - Volumes e comprimentos dentários entre as bases testadas.	39

ARTIGO 2

Tabela 1 - Análise descritiva dos comprimentos dentários, em mm, nos	
diferentes tempos de aquisição	55
Tabela 2 - Comparações entre os grupos controle e experimentais, com	
<i>voxel</i> de 0,2 e 0,3 mm	55

ÍNDICE

Página

1		INTRODUÇÃO	01
2		PROPOSIÇÃO	06
3		DELINEAMENTO DA PESQUISA	07
	3.1	SELEÇÃO E OBTENÇÃO DA AMOSTRA	07
	3.2	PREPARO DOS DENTES E OBTENÇÃO DAS IMAGENS	80
	3.3	ANÁLISE DAS IMAGENS	12
	3.4	COMPARAÇÕES DAS MEDIDAS	16
	3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	17
4		DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	19
	4.1	ARTIGO 1: STARLING CR, VISCONTI MAPG, MACIEL JVB.	
		Avaliação da reabsorção radicular lateral e apical em dentes	
		segmentados de tomografia computadorizada de feixe cônico:	
		estudo in vitro. A ser submetido para publicação na revista	
		American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	20

4.2 ARTIGO 2: STARLING CR, VISCONTI MAPG, MACIEL JVB. Influência do tamanho do *voxel* e da escala de cinza na avaliação do comprimento dentário em dentes segmentados de tomografia computadorizada de feixe cônico. A ser submetido

		para publicação na revista DentoMaxilloFacial Radiology	43
5		CONCLUSÃO	58
6		REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
7		ANEXOS	65
	7.1	ANEXO 1: Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa	65

1 INTRODUÇÃO

A reabsorção radicular é um fenômeno complexo, multifatorial e geralmente assintomático, caracterizado pela perda irreversível de estrutura dentária (Bakland, 1992). Pode estar associada ao tratamento ortodôntico, trauma, força eruptiva dos dentes adjacentes, infecção pulpar, transplante dentário, procedimentos periodontais ou estéticos, dentes impactados e lesões ósseas (Leach, Ireland e Whaites, 2001).

Durante o tratamento ortodôntico, a ocorrência da reabsorção radicular é um efeito indesejável, cuja severidade depende das características individuais do paciente – fatores genéticos (Harris, Kineret e Tolley, 1997) e sistêmicos (Mcnab *et al.*, 1999), gênero (Harris, Kineret e Tolley, 1997) ou idade (Sameshima e Sinclair, 2001) – assim como das características do tratamento propriamente dito – tipo de movimento dentário (Parker e Harris, 1998), duração do tratamento (Ramanathan e Hofman, 2009), quantidade de força aplicada, tipo de aparelho e mecânica utilizada (Linge e Linge, 1983).

A maioria dos pacientes ortodônticos apresenta reabsorções leves que reduzem de 0,4 a 1,5 mm do comprimento do dente (Sameshima e Sinclair, 2001) e apenas 8% apresentam reabsorções maiores que 3 mm, as quais podem trazer consequências clínicas significantes (Artun *et al.*, 2005; Weltman *et al.*, 2010). De modo geral, a reabsorção acomete o ápice radicular, mas, a depender da

mecânica utilizada, pode ocorrer também na superfície lateral da raiz (Ponder *et al.*, 2013).

Há muitos métodos quantitativos e qualitativos, descritos na literatura, para avaliação da reabsorção radicular, tais como radiografias bidimensionais - periapicais ou panorâmicas, subtração radiográfica digital, microscopia eletrônica de varredura (MEV), tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), micro-tomografia computadorizada (Micro-TC) e nano-tomografia computadorizada (Nano-TC) (Sameshima e Asgarifar, 2001; Chan e Darendeliler, 2005; Amano *et al.*, 2006; Dudic *et al.*, 2008; Artun *et al.*, 2009; Ono *et al.*, 2011; Mavridou *et al.*, 2015).

Os três primeiros métodos supracitados apresentam desvantagens que superam as vantagens e, além disso, os estudos atuais ressaltam a superioridade dos exames volumétricos como TCFC, Micro-TC e Nano-TC (Amano *et al.*, 2006; Mavridou *et al.*, 2015). As radiografias bidimensionais estão sujeitas a erros de magnificação (Chan e Darendeliler, 2004), além de apresentarem apenas duas dimensões, limitando a avaliação da reabsorção, que é um fenômeno tridimensional (Chan *et al.*, 2004; Dudic *et al.*, 2009). Os estudos histológicos, por sua vez, são acurados, porém não são úteis na rotina clínica, uma vez que os dentes, para serem avaliados, precisam ser extraídos (Mah e Sachdeva, 2001).

A grande vantagem da TCFC, comparada à Micro-TC e à Nano-TC, é a possibilidade de aplicação em seres vivos, sendo assim, a TCFC é o melhor exame para diagnosticar e quantificar a reabsorção radicular *in vivo* (Wang *et al.*, 2011). A avaliação da reabsorção radicular, calculada pelo método quantitativo, a partir de imagens tridimensionais (3D), é mais precisa do que quando os métodos qualitativo ou semi-quantitativo, em imagens bidimensionais (2D), são utilizados

(Reukers *et al.*, 1998; Chan *et al.*, 2004). As imagens tridimensionais possuem alta definição e permitem a análise da estrutura dentária, independente da sua posição, em todos os ângulos, fornecendo medidas acuradas, sem superposição de estruturas ou distorção (Mah e Sachdeva, 2001; Huang, Bumann e Mah, 2005; Dudic *et al.*, 2009; Ponder *et al.*, 2013).

A TCFC está cada vez mais presente na prática ortodôntica atual. Em alguns casos, pode substituir as radiografias iniciais e finais tradicionais, assim como deve ser indicada para casos específicos, como instalação de dispositivos de ancoragem temporária ou naqueles que apresentam dentes impactados ou supranumerários, reabsorções radiculares, fissura labial e/ou palatina, síndrome da apnéia obstrutiva do sono, deficiência transversa da maxila e anomalias esqueléticas com indicação para cirurgia ortognática (Kapila e Nervina, 2015; SEDENTEX CT (2009)).

Os programas de processamento de registros *DICOM* (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), provenientes da TCFC, estão se tornando cada vez mais eficazes para proporcionar um diagnóstico preciso e acurado. Uma das ferramentas disponíveis nesses programas é a segmentação volumétrica das estruturas, que pode ser definida como a seleção dos *voxels* da estrutura de interesse, combinação desses *voxels* selecionados, sua transformação em um objeto virtual tridimensional e a separação deste, das demais estruturas, para melhor visualização e análise (Grauer, Cevidanes e Proffit, 2009).

Dentre os programas de processamento de imagens está o *ITK-SNAP®*, que foi projetado com foco na ferramenta de segmentação, manual e semiautomática, de estruturas anatômicas. Além disso, ele é gratuito e pode ser instalado em qualquer sistema operacional, sendo amplamente acessível (Yushkevich *et al.*, 2006). Na segmentação manual, o operador seleciona os *voxels* de interesse, corte a corte, que após serem combinados formam um volume 3D. Já na segmentação semi-automática, o operador delimita a área de interesse e o intervalo desejado na escala de tons de cinza, e o computador seleciona automaticamente os *voxels* (El e Palomo, 2010).

A segmentação 3D pode ser influenciada, principalmente, pelo tamanho do *voxel* (Maret *et al.*, 2012) e pela escala de cinza (Weissheimer *et al.*, 2012). Em relação à dimensão do *voxel*, sabendo-se que seu tamanho é inversamente proporcional à resolução espacial da imagem adquirida, quatro opções podem ser utilizadas para determinação do comprimento dentário em imagens de TCFC: 0,125mm, 0,2mm,0,3mm,ou 0,4mm, sendo as duas primeiras, as mais usadas em pesquisas (Neves *et al.*, 2012; Ponder *et al.*, 2013).

Quanto ao intervalo da escala de cinza selecionado para segmentação, ele pode ser interativo ou fixo. O intervalo interativo baseia-se na percepção visual do operador em determinar os limites do que está sendo segmentado. Contudo, a visão humana está sujeita a vários fatores como condições luminosas, fadiga e acuidade visual (Mah, Reeves e Mcdavid, 2010; Weissheimer *et al.*, 2012). Já o intervalo fixo, elimina a subjetividade do operador na seleção dos limites, pois o mesmo é estabelecido para todas as imagens (Weissheimer *et al.*, 2012).

Além disso, na tomografia computadorizada de multidetectores (TCMD), popularmente conhecida como "tomografia médica", a escala de cinza é padronizada, representando as propriedades físicas e a densidade das estruturas escaneadas. A unidade de medida é denominada Unidade Hounsfield (UH) e foi criada baseada no valor do ar (-1000 UH), água (0 UH) e osso (+1000 UH) (Nackaerts *et al.*, 2011). Entretanto, a TCFC não possui uma escala de cinza padronizada (Scarfe *et al.*, 2012).

O tom de cinza dos *voxels* nas imagens de TCFC é influenciado por uma série de fatores, como diferença entre os aparelhos tomográficos existentes, ruído na imagem, protocolo de aquisição, posição do objeto dentro do campo de visão (FOV), massa presente dentro ou fora do FOV e o tamanho do FOV (Groh *et al.*, 2002; Katsumata *et al.*, 2007; Bryant, Drage e Richmond, 2008; Katsumata *et al.*, 2009; Mah, Reeves e Mcdavid, 2010; Nackaerts *et al.*, 2011; Rodrigues *et al.*, 2015).

Quando a mesma estrutura é escaneada em ambos os tomógrafos, o tom de cinza obtido nas imagens de TCFC é maior que aquele obtido na TCMD (Silva *et al.*, 2012). Porém, apesar de não apresentar uma escala padronizada, assim como na TCMD, o esmalte e a dentina na TCFC apresentam valores na escala de cinza superiores àqueles definidos para osso (De Oliveira *et al.*, 2008).

Devido aos avanços nos aparelhos de TCFC e nos programas de análise dos arquivos *DICOM*, é possível obter informações vantajosas do paciente virtual no cenário clínico (Grauer, Cevidanes e Proffit, 2009).

2 PROPOSIÇÃO

Este estudo visa propor uma metodologia de avaliação quantitativa da reabsorção radicular dos dentes, através de mensurações volumétricas e lineares, realizadas diretamente em segmentações tridimensionais, a partir de imagens de TCFC.

- 2.1 Considerando as três variáveis testadas tempo (antes e depois),base (crânio ou isopor) e *voxel* (0,2 e 0,3 mm), observar se há:
 - 2.1.1 Diferença estatística ao comparar as segmentações antes e depois da reabsorção, mantendo mesma base e *voxel*;
 - 2.1.2 Diferença estatística entre as reabsorções encontradas nos grupos controle e experimental, ao variar o tempo;
 - 2.1.3 Concordância ao comparar as segmentações no crânio e no isopor, mantendo mesmo *voxel* e tempo;
 - 2.1.4 Concordância ao comparar as segmentações com *voxel* de 0,2 e 0,3 mm, mantendo mesma base e tempo;
 - 2.1.5 Influencia do tamanho do voxel e da escala de cinza na segmentação e na mensuração do comprimento dentário virtual em comparação ao comprimento dentário real.
- 2.2 Verificar se é possível avaliar a reabsorção radicular, lateral e apical, através da metodologia proposta, de forma precisa, acurada e reprodutível, para posterior aplicação clínica;

3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

3.1 SELEÇÃO E OBTENÇÃO DA AMOSTRA

Este estudo foi realizado após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ (HUCFF/UFRJ), sob o parecer número 1.351.052 (2015) (Anexo 1, página 65).

A amostra disponível para realização desta pesquisa totalizou, inicialmente, 19 dentes, originados de dois crânios de esqueletos humanos, pertencentes ao biorrepositório não-transitório de peças anatômicas do Anatômico, Bloco F – subsolo, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos para este estudo, explicitados posteriormente, foram selecionados 13 dentes (n=13).

Foram incluídos os crânios de esqueletos humanos que apresentaram anatomia normal, independente do gênero, e que tinham dentes hígidos, uni ou multirradiculares, facilmente removidos dos seus alvéolos, sem que houvesse destruição da cortical óssea. Foram excluídos os crânios com fraturas ósseas envolvendo a área alveolar dos dentes selecionados para este estudo; os dentes que apresentaram cáries, materiais restauradores ou tratamentos endodônticos; e os que fraturaram entre os tempos do estudo.

Os crânios humanos, com seus respectivos dentes, foram coletados em caixas fechadas que permitissem o correto transporte das peças e foram armazenados em armário ventilado e à temperatura ambiente durante toda a

pesquisa, com o objetivo de evitar deterioração das mesmas. Toda pesquisa foi realizada na Faculdade de Odontologia da UFRJ, nas dependências do Departamento de Odontopediatria e Ortodontia e do Departamento de Patologia e Diagnóstico Oral, sendo a aquisição das imagens realizada na Clínica de Radiologia.

3.2 PREPARO DOS DENTES E OBTENÇÃO DAS IMAGENS

Cada um dos 13 dentes foi submetido a oito exames tomográficos, realizados por TCFC, com três variáveis (base, tempo e *voxel*), totalizando 104 imagens tomográficas, como descrito no Quadro 1 (página 8).

Examo por TCEC	Basa	Tompo	Voxal
	Dase	rempo	VOXEI
#1 (Crânioantes3)	Alvéolo do crânio	Antes da reabsorção	0,3 mm
#2 (Crânioantes2)	Alvéolo do crânio	Antes da reabsorção	0,2 mm
#3 (Isoporantes3)	Isopor	Antes da reabsorção	0,3 mm
#4 (Isoporantes2)	Isopor	Antes da reabsorção	0,2 mm
#5 (Crâniodepois3)	Alvéolo do crânio	Depois da reabsorção	0,3 mm
#6 (Crâniodepois2)	Alvéolo do crânio	Depois da reabsorção	0,2 mm
#7 (Isopordepois3)	Isopor	Depois da reabsorção	0,3 mm
#8 (Isopordepois2)	Isopor	Depois da reabsorção	0,2 mm

Quadro 1 - Descrição dos oito exames por TCFC realizados para cada dente.

Entre os tempos tomográficos #1 e #2; #3 e #4; #5 e #6; #7 e #8, não houve mudança na posição do crânio ou do isopor. Os dentes escaneados dentro do alvéolo do crânio humano compuseram o grupo experimental (GE) e os dentes escaneados no isopor, compuseram o grupo controle (GC).

Inicialmente os dentes foram envolvidos em uma fina camada de cera de articulação amarela derretida (Marca: *Clássico*) (Figura 1, página 9) e inseridos nos respectivos alvéolos, com o objetivo de simular o espaço do ligamento periodontal e permitir união firme entre os dentes e os alvéolos. Foram realizadas marcações com lápis entre o dente e o seu alvéolo, em forma de traço contínuo e

por lingual, para padronizar a posição do mesmo nos momentos de inserção e remoção do alvéolo (Figura 2, página 9).



Figura 1- Raiz do dente sendo envolvida na cera de articulação derretida.



Figura 2 – Vista palatal da marcação a lápis dos dentes em seus respectivos alvéolos.

Os crânios, com seus dentes preparados, foram colocados em um posicionador de acrílico específico para padronização do posicionamento e simulação dos tecidos moles (Visconti *et al.*, 2013). O posicionador possuía paredes laterais de acrílico, com espessura de 0,6 cm, para simular tecidos moles

(Figuras 3 e 4, página 11) e estava apoiado no chão, para evitar artefatos de movimentos durante a aquisição das imagens.

A padronização do posicionamento foi realizada com base nos planos sagital mediano (PSM) e horizontal de Frankfurt (PHF), estando estes perpendicular e paralelo ao solo, respectivamente. Para isso, tomaram-se como referência as marcações luminosas do próprio tomógrafo. Além dessas, foi realizada uma terceira referência, que foi a marcação da posição do mento na parte inferior no posicionador, com caneta de retroprojetor, mantendo sempre a mesma posição antes e após a reabsorção (Figura 3, página 11). Dessa forma, os dentes estiveram na mesma região dentro do FOV nos dois tempos tomográficos, antes e após a confecção da reabsorção.

Os crânios foram escaneados utilizando o tomógrafo de feixe cônico *KODAK K9500[®]* (Carestream Health, Rochester, USA), seguindo dois protocolos distintos: 90 kV, 10 mA, FOV= 20x18 cm, *voxel*= 0,3 mm e tempo de rotação de 10,8 s; e 90 kV, 10 mA, FOV= 15x9 cm, *voxel*= 0,2 mm e tempo de rotação de 10,8 s, gerando as imagens #1 e #2, respectivamente.

Posteriormente, os dentes foram removidos dos seus alvéolos cuidadosamente, a cera foi removida das raízes com espátula de plástico e gaze, e eles foram encaixados em uma base de isopor com furos nomeados, para que os dentes estivessem na mesma posição dentro do FOV, antes e após a simulação da reabsorção. A base de isopor com os dentes foi colocada no mesmo posicionador, utilizando a marcação à caneta como referência e, ao redor da base de isopor, foi colocada uma parede de cera de articulação amarela, com o objetivo de atenuar os feixes de raios-X e simular tecidos moles (Visconti *et al.*,

2013) (Figura 4, página 11). Então, foram escaneados seguindo os mesmos protocolos, gerando as imagens #3 e #4.



Figura 3 – Crânio posicionado no simulador de acrílico de forma padronizada.



Figura 4 – Base de isopor, contendo os dentes, posicionada no simulador de acrílico.

Na segunda etapa do estudo, foi realizada a reabsorção das raízes desses dentes, tanto na região apical quanto na face lateral, com a utilização de broca diamantada com formato oval (*FG 3168 FF, KG, Sorensen, Brasil*) e turbina de alta rotação (*KAVO*) (Figura 5, página 12). As reabsorções não foram padronizadas, sendo maiores em alguns dentes e menores em outros dentes, em diferentes locais da raiz. Posteriormente, as raízes dos dentes foram envolvidas pela mesma cera e, observando-se a coincidência entre os traços do dente e do alvéolo, eles foram reinseridos para nova aquisição tomográfica, gerando as imagens #5 e #6. Em seguida, os dentes foram removidos dos alvéolos, a cera foi retirada das suas raízes e eles foram reinseridos na base de isopor, para as últimas aquisições, #7 e #8. Todas as imagens foram armazenadas em mídia óptica no formato *DICOM*.



Figura 5 – Simulação da reabsorção radicular. (A) Apical; (B) Lateral.

3.3 ANÁLISE DAS IMAGENS

Os oito registros *DICOM* de cada dente foram importados pelo programa *ITK-SNAP[®] versão 3.4.0* (Penn Image Computing and Science Laboratory -Pennsylvania, USA - Yushkevich *et al.*, 2006) para a segmentação semiautomática do dente e mensuração volumétrica, baseada na escala de cinza do tomógrafo de feixe cônico utilizado.

Como cada tomógrafo apresenta uma escala de cinza própria, o intervalo da escala de cinza foi selecionado de modo específico. No programa *ITK-SNAP[®]*,

na imagem #1, verificou-se o menor e o maior valor da escala de cinza, para dente e para osso, e, assim, foi selecionado um valor que englobasse toda a estrutura dentária, para ser utilizado como intervalo fixo na segmentação semiautomática dos dentes. O intervalo escolhido foi a partir de 900 (limite mínimo) até o valor máximo (limite máximo) apresentado na imagem tomográfica.

Então, foram realizadas três segmentações semi-automáticas de cada dente, com intervalo fixo da escala de cinza (≥ 900), e foram gerados três volumes das estruturas segmentadas. Inicialmente foram segmentados todos os dentes do GC, sem necessidade de refinamento manual, e, em seguida, todos os dentes do GE, com refinamento manual pelo examinador, corte a corte.

Para o refinamento, a imagem foi preparada com aumento (*zoom*) de quatro vezes, correspondendo a 13,3 vezes nas imagens com *voxel* de 0,3mm e de 20 vezes nas imagens com *voxel* de 0,2mm. A opacidade da cor variou entre 10 e 20%, para que fosse possível identificar de forma precisa o limite entre dente e osso. Então foi utilizada a ferramenta do pincel, existente no programa, no menor tamanho existente, para delimitar o que foi selecionado para fora do contorno do dente. Posteriormente, a opacidade da cor foi aumentada para acima de 50%, para melhorar a visibilidade e, em cada corte axial do dente, foram removidas todas as áreas excedentes ao contorno do dente. Se houvesse contato oclusal do dente com osso ou com outro dente, o extravasamento foi verificado e removido nos cortes sagitais.

Para cada dente, devido às três segmentações, foram gerados três volumes, e em seguida foi feita a média desses valores (Figuras 6 e 7, página 14). As três segmentações de cada dente foram exportadas do *ITK-SNAP*[®] e salvas

no formato STL (*Standard Tessellation Language*). Posteriormente, os três arquivos STL de cada dente foram importados no programa *NETFABB BASIC*[®] *versão* 6.4.0 (Netfabb GmbH), no qual, foi realizada a mensuração linear do comprimento do dente, uma em cada segmentação, fazendo-se também a média de comprimento para cada dente.



Figura 6 – Apresentação da segmentação semi-automática do dente na base de isopor (GC), no programa *ITK-SNAP[®]*, sem necessidade de refinamento manual.



Figura 7 – Apresentação da segmentação semi-automática do dente no alvéolo dentário (GE), no programa *ITK-SNAP*[®], pós-refinamento manual.
No programa *NETFABB BASIC[®]* foi mensurada manualmente a maior distância, de uma extremidade à outra do dente segmentado. Nos caninos, foi mensurado da ponta do bordo incisal ao ápice da raiz; nos pré-molares superiores, da ponta da cúspide vestibular ao ápice da raiz vestibular; nos pré-molares inferiores, da ponta da cúspide vestibular ao ápice da raiz; nos molares superiores, da ponta da cúspide mésio-palatina ao ápice da raiz palatina; e nos molares inferiores, da ponta da cúspide mésio-lingual ao ápice da raiz mesial (Figura 8, página 15).

Com paquímetro digital de leitura de 0,01 mm (*Orthopli Corporation*) foram reproduzidas as mesmas mensurações, agora nos espécimes pós-reabsorção, três vezes em cada dente, fazendo-se uma média para cada dente, com o objetivo de comparar com as medidas virtuais obtidas no programa *NETFABB BASIC*[®] (Figura 9, página 16).



Figura 8 – Mensuração linear virtual do comprimento do molar superior no programa *NETFABB BASIC*[®].



Figura 9 – Mensuração linear real do comprimento do molar superior com paquímetro digital.

3.4 COMPARAÇÕES DAS MEDIDAS

Considerando-se a base (crânio ou isopor), o *voxel* (0,3 ou 0,2mm) e o tempo (antes ou depois da reabsorção), foram comparadas cinco situações, para cada dente, como descrito no Quadro 2 (páginas 16 e 17).

	Base	Tempo	Voxel	Comparações
Comparação 1	Fixa	Variável	Fixo	Crânioantes3 x Crâniodepois3
				Crânioantes2 x Crâniodepois2
				Isoporantes3 x Isopordepois3
				Isoporantes2 x Isopordepois2
Comparação 2	Variável	Variável	Fixo	(Crânioantes3 - Crâniodepois3) x
				(Isoporantes3 - Isopordepois3)
				(Crânioantes2 - Crâniodepois2) x
				(Isoporantes2 - Isopordepois2)
Comparação 3	Fixa	Fixo	Variável	Crânioantes3 x Crânioantes2
				Crâniodepois3 x Crâniodepois2
				Isoporantes3 x Isoporantes2
				Isopordepois3 x Isopordepois2

Comparação 4	Variável	Fixo	Fixo	Crânioantes3 x Isoporantes3
				Crânioantes2 x Isoporantes2
				Crâniodepois3 x Isopordepois3
				Crâniodepois2 x Isopordepois2
Comparação 5	Variável	Fixo	Variável	Crâniodepois3 x Paquímetro
				Crâniodepois2 x Paquímetro
				Isopordepois3 x Paquímetro
				Isopordepois2 x Paquímetro
				Isopordepois3 x Isopordepois2
				Crâniodepois3 x Crâniodepois2

Quadro 2 - Comparações realizadas para cada dente.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.5.1 Calibração intra-examinador

Todas segmentações e medidas foram realizadas por um único examinador (C.R.S.), devidamente treinado. Para calcular a confiabilidade das medidas e a calibração do examinador, após 15 dias, 30% da amostra foi selecionada aleatoriamente (quatro dentes) e foram refeitas as três segmentações de cada dente, obtendo-se novamente três medidas para o volume e três medidas para o comprimento. O cálculo do Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) foi realizado no programa BioEstat 5.3 (*Instituto Mamirauá, Amazonas, Brasil*).

3.5.2 Análise estatística dos dados

Os dados descritivos e inferenciais foram analisados pelos programas Microsoft *Excel[®]* (*Microsoft*, Redmond, WA, USA) e *R-3.5.2[®]* (The R Foundation, versão 3.5.2, r-project.org).

Para verificar a normalidade dos dados, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Como a amostra apresentou distribuição normal, inicialmente foi realizada a análise descritiva dos dados, com valores de média e desvio padrão para cada dente e para cada grupo de dentes.

Para avaliar as comparações 1 e 2, ou seja, as medidas quantitativas ao variar o tempo (antes e depois) e os grupos (GC e GE), foi aplicado o teste T de Student pareado (p<0.05). Para avaliar a precisão e acurácia entre os métodos, ao variar *voxel* (0,2 e 0,3 mm) e ao variar base (crânio e isopor) – comparações 3 e 4 – foi aplicado a Concordância de Lin. E para avaliar a concordância existente entre o comprimento dos dentes no isopor, no crânio e no paquímetro (comparação 5) foi aplicado a Concordância de Lin e a Análise de Bland-Altman.

4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

4.1 ARTIGO 1

STARLING CR, VISCONTI MAPG, MACIEL JVB. Avaliação da reabsorção radicular lateral e apical em dentes segmentados de tomografia computadorizada de feixe cônico: estudo *in vitro*. A ser submetido para publicação na revista American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.

4.2 ARTIGO 2

STARLING CR, VISCONTI MAPG, MACIEL JVB. Influência do tamanho do voxel e da escala de cinza na avaliação do comprimento dentário em dentes segmentados de tomografia computadorizada de feixe cônico. A ser submetido para publicação na revista DentoMaxilloFacial Radiology.

Contato do autor: José Vinicius Bolognesi Maciel, Departamento de Odontopediatria e Ortodontia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Endereço: Programa de Pós-Graduação em Odontologia (Ortodontia) da UFRJ. Av. Professor Rodolpho Paulo Rocco, nº 325, 1º andar, Cidade Universitária, Ilha do Fundão. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP 21941-617.

Email: viniciusmaciel@ortodontia.ufrj.br

ARTIGO 1

AVALIAÇÃO DA REABSORÇÃO RADICULAR LATERAL E APICAL EM DENTES SEGMENTADOS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO: ESTUDO *IN VITRO.*

RESUMO

Introdução: A reabsorção radicular pode acometer tanto o ápice quanto a superfície lateral da raiz e trata-se de um fenômeno tridimensional, sendo necessária a análise volumétrica, além da linear, para quantificá-la. O objetivo, neste estudo, foi propor uma metodologia de avaliação guantitativa da reabsorção radicular dos dentes, lateral e apical, através de medidas volumétricas e lineares, realizadas em segmentações tridimensionais provenientes de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico. Métodos: Treze dentes foram submetidos a oito aquisições tomográficas, antes e depois da simulação da reabsorção radicular, variando os valores do voxel, entre 0,2 e 0,3 mm, e a base que estavam inseridos, isopor e alvéolo, respectivamente grupo controle e experimental. As imagens foram importadas no programa ITK-SNAP para a segmentação e mensuração volumétrica e, as segmentações geradas foram importadas no programa NETFABB BASIC para mensuração linear. Resultados: Os dados foram comparados pela Concordância de Lin e pelo teste T de Student. Tanto no comprimento, guanto no volume, guando a comparação foi feita entre os voxels, entre as bases e entre os grupos, houve concordância quase perfeita

entre as medidas. Após a reabsorção, todos os dentes apresentaram redução estatisticamente significante, observando-se coincidência entre os grupos controle e experimental, para o *voxel* de 0,3 mm, tanto para volume quanto para comprimento, porém, no *voxel* de 0,2 mm, foi encontrada apenas coincidência no comprimento. O cálculo do coeficiente de correlação intraclasse revelou reprodutibilidade excelente do método proposto. **Conclusões:** A metodologia proposta mostrou-se altamente precisa, acurada e reprodutível. A mensuração do volume é sensível a alterações na escala de cinza, ao contrário da mensuração do comprimento, e o *voxel* de 0,3 mm permite a avaliação real da reabsorção apical e lateral.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico; Programas de Computação; Reabsorção da raiz.

INTRODUÇÃO

A reabsorção radicular é um fenômeno complexo, multifatorial e geralmente assintomático, caracterizado pela perda irreversível de estrutura dentária¹. Durante o tratamento ortodôntico, a ocorrência da reabsorção radicular é um efeito indesejável cuja severidade depende das características individuais do paciente²⁻⁴, assim como das características do tratamento propriamente dito⁵⁻⁷.

A maioria dos pacientes ortodônticos apresenta reabsorções leves que reduzem de 0,4 a 1,5 mm do comprimento do dente⁴ e apenas 8% apresentam reabsorções maiores que 3 mm, as quais podem trazer consequências clínicas significantes^{8,9}. De modo geral, a reabsorção acomete o ápice radicular, mas, a depender da mecânica utilizada, pode ocorrer também na superfície lateral da raiz¹⁰.

Há muitos métodos quantitativos e qualitativos, descritos na literatura, para avaliação da reabsorção radicular, tais como radiografias bidimensionais – periapicais ou panorâmicas, subtração radiográfica digital, microscopia eletrônica de varredura (MEV), tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), micro-tomografia computadorizada (Micro-TC) e nano-tomografia computadorizada (Nano-TC)¹¹⁻¹⁷.

Os três primeiros métodos supracitados apresentam desvantagens que superam as vantagens e, além disso, os estudos atuais ressaltam a superioridade dos exames volumétricos como TCFC, Micro-TC e Nano-TC^{13,17}. A grande vantagem da TCFC comparada à Micro-TC e à Nano-TC é a possibilidade de aplicação em seres vivos, sendo assim, a TCFC pode ser usada para diagnosticar e quantificar a reabsorção radicular *in vivo*¹⁸.

A reabsorção radicular é um fenômeno tridimensional^{19,20} e deve ser avaliado por imagens 3D. As imagens tridimensionais possuem alta definição e permitem a análise da estrutura dentária, independente da sua posição, em todos os ângulos, fornecendo medidas acuradas, sem superposição de estruturas ou distorção^{10,20-22}. A TCFC está cada vez mais presente na prática ortodôntica atual. Em alguns casos, a TCFC pode substituir as radiografias iniciais e finais tradicionais, assim como deve ser indicada em casos específicos^{23,24}.

O objetivo, neste estudo, é propor uma metodologia de avaliação quantitativa da reabsorção radicular dos dentes, lateral e apical, através de medidas volumétricas e lineares, realizadas em segmentações tridimensionais provenientes de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do HUCFF/UFRJ, sob o parecer número 1.351.052 (2015), treze dentes originados de dois crânios de esqueletos humanos, foram selecionados para este estudo. Foram incluídos, crânios que apresentassem anatomia normal, independente do gênero, e que tivessem dentes hígidos, uni ou multirradiculares, que fossem facilmente removidos dos seus alvéolos, sem que houvesse destruição da cortical óssea. Foram excluídos os crânios com fraturas alveolares, os dentes que apresentaram cáries, materiais restauradores ou tratamentos endodônticos, e os que sofreram fratura entre os tempos do estudo.

Cada dente foi submetido a oito exames tomográficos, realizados por TCFC, com três variáveis (base, tempo e *voxel*), totalizando 104 imagens tomográficas, como descrito no Quadro 1. Os dentes escaneados dentro do alvéolo do crânio humano compuseram o grupo experimental (GE) e os dentes escaneados no isopor compuseram o grupo controle (GC), sendo considerados como padrão-ouro.

Inicialmente, as raízes dos dentes foram envolvidas por uma fina camada uniforme de cera e eles foram reinseridos nos seus respectivos alvéolos. Os crânios com os dentes foram colocados de forma padronizada em um posicionador específico²⁵, com base no plano sagital mediano (PSM), plano horizontal de Frankfurt (PHF) e na marcação da posição do mento na parte inferior no posicionador (Figura 1). Dessa forma, os dentes estiveram na mesma região dentro do FOV nos dois tempos tomográficos, antes e após a simulação da reabsorção. Os crânios foram escaneados utilizando o tomógrafo de feixe cônico *KODAK K9500[®]* (Carestream Health, Rochester, USA), seguindo dois protocolos distintos: 90 kV, 10 mA, FOV= 20x18 cm, *voxel*= 0,3 mm e tempo de rotação de 10,8 s; e 90 kV, 10 mA, FOV= 15x9 cm, *voxel*= 0,2 mm e tempo de rotação de 10,8 s, gerando as imagens #1 e #2, respectivamente.

Posteriormente, os dentes foram encaixados em uma base de isopor com furos nomeados, para que os dentes também estivessem na mesma posição dentro do FOV, considerando-se o antes e o depois da reabsorção. Os dentes foram colocados no mesmo posicionador, utilizando a marcação inferior como referência e foi colocada uma caixa de cera ao redor da base de isopor, com o objetivo de atenuar os feixes de raios-X²⁵ (Figura 2). Em seguida, os dentes foram escaneados seguindo os mesmos protocolos, gerando as imagens #3 e #4.

Na segunda etapa do estudo, foi realizada a simulação da reabsorção das raízes desses dentes, tanto na região apical quanto na face lateral, com a utilização de broca diamantada com formato oval (*FG 3168 FF, KG, Sorensen, Brasil*) e turbina de alta rotação (*KAVO*) (Figura 3). As reabsorções não foram padronizadas, sendo maiores em alguns dentes e menores em outros dentes, em diferentes locais da raiz. Posteriormente, os dentes foram reinseridos nos alvéolos para nova aquisição tomográfica, gerando as imagens #5 e #6. Em seguida, os dentes foram reinseridos na base de isopor, para as últimas aquisições, #7 e #8. Todas as imagens foram armazenadas em mídia óptica no formato *DICOM*.

Os oito registros *DICOM* de cada dente foram importados pelo programa *ITK-SNAP[®] versão 3.4.0* (Penn Image Computing and Science Laboratory -Pennsylvania, USA)²⁶ para a segmentação semi-automática do dente e mensuração volumétrica, baseada na escala de cinza do tomógrafo de feixe cônico utilizado (\geq 900). Cada dente foi segmentado três vezes, sendo, inicialmente, segmentados todos os dentes do grupo controle (Figura 4) e, em seguida, todos os dentes do grupo experimental, estes últimos com refinamento manual pelo examinador, corte a corte (Figura 5). Em seguida foi feita a média desses valores para cada dente. As três segmentações de cada dente foram exportadas desse programa e salvas no formato STL (*Standard Tessellation Language*).

Então, os três arquivos STL de cada dente foram importados no programa *NETFABB BASIC[®] versão* 6.4.0 (Netfabb GmbH), no qual, foi mensurada manualmente a maior distância linear do comprimento do dente, de uma extremidade à outra, diretamente em cada segmentação (Figura 6). Também foi calculada a média de comprimento para cada dente.

Considerando-se a base (crânio ou isopor), o *voxel* (0,3 ou 0,2mm) e o tempo (antes ou depois da reabsorção), foram comparadas 14 situações para cada dente, como descrito no Quadro 2.

Análise estatística

Todas as medidas foram realizadas por um único examinador, devidamente treinado. Para calcular a confiabilidade das medidas e a calibração do examinador, após 15 dias, 30% da amostra foi selecionada aleatoriamente e foram refeitas as três segmentações de cada dente, obtendo-se novamente 3 medidas para o volume e 3 medidas para o comprimento. O cálculo do Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) foi realizado no programa BioEstat 5.3 (*Instituto Mamirauá, Amazonas, Brasil*).

25

Os dados foram analisados pelos programas Microsoft *Excel*[®] (*Microsoft*, Redmond, WA, USA) e *R-3.5.2*[®] (The R Foundation, versão 3.5.2, Auckland r-project.org). Para verificar a normalidade dos dados, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Como a amostra apresentou distribuição normal, inicialmente foi realizada a análise descritiva dos dados, com valores de média e desvio padrão para cada dente e para cada grupo de dentes (Tabelas 1 e 2). Para avaliar a medida quantitativa ao variar o tempo (antes e depois) foi aplicado o teste T de Student pareado (p<0.05) (Tabelas 1 e 2). Para avaliar a precisão e a acurácia entre os métodos, ao variar *voxel* (0,2 e 0,3 mm) e ao variar base (crânio e isopor), foi aplicada a Concordância de Lin (Tabelas 3 e 4, respectivamente).

RESULTADOS

O cálculo do Coeficiente de Correlação Intra-classe (ICC) intra-examinador mostrou reprodutibilidade excelente do método proposto, sendo que o resultado obtido foi de 1 para volume, tanto com *voxel* de 0,2 quanto 0,3 mm (IC 95% entre 1 e 1); e de 0,9998 para comprimento, tanto com *voxel* de 0,2 quanto 0,3 mm (IC 95% entre 0,9994 e 0,9999).

A análise estatística descritiva e inferencial dos dados, deste trabalho, está disposta nas tabelas 1, 2, 3 e 4. Nas tabelas 1 e 2 encontram-se a análise descritiva dos dados, com valores de média e desvio-padrão, e a análise inferencial, realizada com o teste T de Student pareado (p<0.05) . O desvio padrão foi baixo entre as três medidas de cada dente, variando entre 0 a 4,87 mm³ para volume e entre 0 a 0,08mm para comprimento. Já o desvio-padrão do grupo dos treze dentes apresentou-se maior para comprimento e, principalmente,

para volume, por se tratar de tipos de dentes diferentes, incluindo caninos, prémolares e molares, inferiores e superiores.

Quanto à comparação 1 (Tabelas 1 e 2), observou-se redução, com diferença estatística, em todas as medidas de volume e comprimento. As reduções variaram de 2,7 mm³ a 23,4 mm³ para o volume e de 0,03 mm a 1,19 mm para comprimento, mostrando valores precisos. Já na comparação 2 (Tabelas 1 e 2), foram encontradas coincidências entre a reabsorção real (GC) e a virtual (GE) no *voxel* de 0,3mm, tanto para volume quanto para comprimento e no *voxel* de 0,2 mm, apenas para comprimento.

Em relação às comparações 3 e 4 (Tabelas 3 e 4, respectivamente), tanto no comprimento, como no volume, foi possível observar concordância quase perfeita entre as medidas.

DISCUSSÃO

A validação da TCFC como ferramenta para mensurar comprimento e volume do dente tem sido foco de numerosos estudos^{10,18,27-32}. Entretanto não há um protocolo de segmentação 3D que possa ser utilizado como padrão³² e nem um programa que se destaca com essa função.

Forst e colaboradores (2014)³² estudaram três protocolos de segmentação para determinar o volume do dente: 1) Segmentação manual, corte a corte; 2) Segmentação automática sem refinamento humano; e 3) Segmentação automática com refinamento humano, corte a corte. Concluíram que o terceiro método é aquele que apresenta excelente precisão e confiabilidade intra e interexaminador. Quanto ao intervalo de cinza selecionado, ele pode ser interativo ou fixo. O intervalo interativo se baseia na acuidade visual em relação aos limites do que está sendo segmentado^{33,34} e o intervalo fixo, elimina a subjetividade do observador na seleção dos limites, pois é o mesmo para todas as imagens³⁴.

No presente estudo, foi proposta, como metodologia, a técnica de segmentação semi-automática, com refinamento humano corte a corte, através do programa *ITK-SNAP®*, com o intervalo fixo na escala de cinza, igual ou maior a 900, para o tomógrafo *KODAK 9500®*. Nos dentes do grupo experimental, o refinamento manual, corte a corte, foi necessário para garantir que apenas os valores de *voxel* referentes ao dente fossem selecionados. No grupo controle não houve a necessidade de refinamento, pois tudo que foi selecionado automaticamente tratava-se de tecido dentário. Neste programa, também foram calculados os volumes das segmentações geradas e, posteriormente, estas segmentações foram importadas no programa *NETFABB BASIC®* para mensuração dos comprimentos dentários.

Não foram encontrados estudos na literatura que utilizassem essa metodologia para avaliação tridimensional da reabsorção radicular apical e lateral. Ademais, neste estudo, foi utilizada a TCFC como exame de imagem, para avaliar a reabsorção, já que é o melhor exame ao alcance dos pacientes; e foram selecionados dois programas de processamento de imagens, para segmentação e mensuração do volume e do comprimento dentários, que fossem gratuitos e de fácil acesso a todos os profissionais.

Baysal *et al.*, $(2012)^{29}$, Li *et al.*, $(2013)^{30}$ e Ajmera *et al.*, $(2014)^{31}$ avaliaram a reabsorção radicular, antes e depois de diferentes tipos de tratamentos ortodônticos, e encontraram diferença estatística entre os dois tempos. Porém todos separaram a coroa da raiz e avaliaram apenas o volume da raiz. O estudo de Forst *et al.*, $(2014)^{32}$ comparou a precisão do volume quando a segmentação era do dente inteiro e quando era apenas da raiz, apicalmente à junção cementoesmalte, e concluiu que a primeira mensuração é mais precisa que a segunda. No presente estudo, foi calculado o volume e o comprimento do dente inteiro, com a hipótese de que, se nenhum desgaste foi realizado na coroa dentária, toda alteração de volume e comprimento observados foram originados na raiz. Em todos os dentes, houve redução do volume e comprimento médios, com diferença estatística e com coincidência entre os grupos testados (GC e GE), garantindo a fidelidade nas segmentações. Mínimas reabsorções puderam ser avaliadas através dessa metodologia.

Ao calcular-se a diferença da reabsorção entre GC e GE, foram encontradas coincidências entre a reabsorção real (GC) e a virtual (GE) no *voxel* de 0,3mm, tanto para volume quanto para comprimento, no entanto, no *voxel* de 0,2 mm, essa coincidência ocorreu apenas no comprimento, revelando que a reabsorção lateral foi avaliada de forma real apenas com o *voxel* de 0,3 mm. O primeiro achado corrobora com o estudo de Ponder *et al.*, (2013)¹⁰, que com a TCFC, independente do tamanho do *voxel*, é possível quantificar linearmente a reabsorção apical, e o segundo achado contraria alguns autores^{10,31,35} que afirmam que quanto menor o *voxel*, mais fácil e preciso será o diagnóstico da reabsorção.

Neste estudo foram realizadas tomografias com dois tamanhos de *voxel* distintos (0,2 e 0,3mm), devido às limitações oferecidas pelo tomógrafo testado (*KODAK K9500*[®]). Durante as segmentações, constatou-se que nas imagens com maior *voxel* (0,3mm) a segmentação tornava-se mais rápida, com menos cortes axiais para serem analisados no refinamento. O contrário foi observado para *voxel* de 0,2mm, que quando o dente era segmentado, devido à maior quantidade de

cortes axiais a serem analisados, a segmentação era mais demorada. Esta é uma vantagem de se utilizar o *voxel* de 0,3 mm, já que a segmentação dentária tornase mais ágil e, assim, mais aplicável clinicamente.

A variação nos valores de *voxel* para aquisição de imagens apresenta grande importância quando se leva em conta a dose de radiação emitida. O tomógrafo pode apresentar oscilações na dose de radiação emitida, dependendo do modelo do aparelho e do protocolo de aquisição adotado³⁶. Segundo Liedke *et al.*, (2009)³⁶, para investigar a reabsorção radicular externa, a melhor resolução de *voxel* é a de 0,3 mm pois esse protocolo oferece como vantagens a mesma performance da resolução de 0,2 mm, mas com menor tempo de escaneamento e menor dose de radiação.

O estudo de Maret *et al.*, $(2012)^{37}$ concluiu que as medidas volumétricas com *voxel* \leq 0,2 mm subestimam sem diferença estatística o volume real do dente, e com *voxel* \geq 0,3mm, subestimam com diferença estatística o seu volume real. Porém se o volume virtual do dente é exatamente igual ao volume real, não há relevância, já que o que realmente importa é se a reabsorção foi detectada e mensurada de forma igual tanto no dente virtual quanto no real. Neste estudo, foi possível verificar que o *voxel* de 0,3mm permite quantificar tanto a reabsorção apical quanto a lateral, com concordância quase perfeita entre grupo controle e experimental.

As imagens de TCFC estão sujeitas a dois efeitos que alteram os valores de cinza do *voxel*, sendo eles: efeito de massa e efeito de exomassa. Tais efeitos caracterizam-se pela presença de massa dentro e fora do FOV, respectivamente³⁸. Além desses, o tamanho do FOV e a posição do dente dentro do FOV também alteram a escala de cinza³⁹. As imagens deste estudo foram

realizadas no mesmo tomógrafo e o objeto permaneceu estático durante todas as aquisições, porém, a mudança no tamanho do *voxel*, automaticamente alterou o tamanho do FOV, sendo 20x18 cm para o *voxel* de 0,3mm e 15x9 cm para o *voxel* de 0,2mm. Os demais parâmetros de aquisição foram fixos (mA, kVp, tempo de rotação). Dessa maneira, a única situação na qual os dentes estavam exatamente na mesma posição dentro do FOV, com a mesma massa e exomassa e, consequentemente com a mesma escala de cinza, foi quando a variável era apenas o tempo.

Ao variar o *voxel* e a base, houve variação da escala de cinza do dente, levando a oito volumes e oito comprimentos diferentes entre as oito aquisições do mesmo dente. Foi observada maior diferença entre os volumes do que entre os comprimentos, sendo maior quando a base era variada. Sendo assim, pode-se perceber que a quantificação do volume dentário é mais sensível às mudanças na escala de cinza que a quantificação do comprimento.

Apesar disso, tanto no comprimento, como no volume, quando foram feitas as comparações 3 e 4, foi possível observar concordância quase perfeita entre as medidas, tanto pelo coeficiente de correlação de concordância, quanto pelo intervalo de concordância de 95% - ambos acima de 0,99. Isso reflete a alta precisão e acurácia do método, pois as medidas obtidas no grupo experimental estão em concordância com as do grupo controle, independente da escolha do *voxel.*

CONCLUSÕES

É possível diagnosticar e quantificar a reabsorção radicular lateral e apical de forma precisa, acurada e reprodutível, através da TCFC e dos dois programas

de segmentação e mensuração propostos. A reabsorção apical pode ser quantificada com precisão tanto com *voxel* de 0,2 quanto 0,3 mm. Já a reabsorção lateral é melhor quantificada com *voxel* de 0,3 mm. Idealmente, avaliação das reabsorções deve ser feita comparando-se dois exames tomográficos padronizados, para evitar que variáveis alterem a escala de cinza, uma vez que a mensuração do volume é sensível a essas alterações, ao contrário da mensuração do comprimento.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de pós-graduação em Ortodontia da UFRJ, sob coordenação do Dr. Eduardo Franzotti Sant'Anna e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro e profissional, com a bolsa de estudos durante o curso.

Exame por TCFC	Base	Tempo	Voxel
#1 (Crânio-antes-3)	Alvéolo do crânio	Antes da reabsorção	0,3 mm
#2 (Crânio-antes-2)	Alvéolo do crânio	Antes da reabsorção	0,2 mm
#3 (Isopor-antes-3)	Isopor	Antes da reabsorção	0,3 mm
#4 (Isopor-antes-2)	Isopor	Antes da reabsorção	0,2 mm
#5 (Crânio-depois-3)	Alvéolo do crânio	Depois da reabsorção	0,3 mm
#6 (Crânio-depois-2)	Alvéolo do crânio	Depois da reabsorção	0,2 mm
#7 (Isopor-depois-3)	Isopor	Depois da reabsorção	0,3 mm
#8 (Isopor-depois-2)	Isopor	Depois da reabsorção	0,2 mm

Quadro 1 - Descrição dos oito exames por TCFC realizados para cada dente.

	Base	Tempo	Voxel	Comparações
Comparação 1	Fixa	Variável	Fixo	Crânio-antes-3 x Crânio-depois-3
				Crânio-antes-2 x Crânio-depois-2
				Isopor-antes-3 x Isopor-depois-3
				Isopor-antes-2 x Isopor-depois-2
Comparação 2	Variável	Variável	Fixo	(Crânio-antes-3 – Crânio-depois-3) x
				(Isopor-antes-3 – Isopor-depois-3)
				(Crânio-antes-2 – Crânio-depois-2) x
				(Isopor-antes-2 – Isopor-depois-2)
Comparação 3	Fixa	Fixo	Variável	Crânio-antes-3 x Crânio-antes-2
				Crânio-depois-3 x Crânio-depois-2
				Isopor-antes-3 x Isopor-antes-2
				Isopor-depois-3 x Isopor-depois-2
Comparação 4	Variável	Fixo	Fixo	Crânio-antes-3 x Isopor-antes-3
				Crânio-antes-2 x Isopor-antes-2
				Crânio-depois-3 x Isopor-depois-3
				Crânio-depois-2 x Isopor-depois-2

Quadro 2 - Comparações realizadas para cada dente.



Figura 1 – Crânio posicionado no simulador de acrílico de forma padronizada.



Figura 2 – Base de isopor, contendo os dentes, posicionada no simulador de acrílico.



Figura 3 – Simulação da reabsorção radicular. (A) Apical; (B) Lateral.



Figura 4 – Apresentação da segmentação semi-automática do dente na base de isopor (grupo controle), no programa *ITK-SNAP[®]*, sem necessidade de refinamento manual.



Figura 5 – Apresentação da segmentação semi-automática do dente no alvéolo dentário (grupo experimental), pós-refinamento manual, no programa *ITK-SNAP*[®].



Figura 6 – Mensuração linear do comprimento do pré-molar inferior no programa *NETFABB BASIC*[®].

p valor	Diferença	p valor	Diferença	Todos	13	12	11	10	6	8	7	6	5	4	З	2	4		Dente	Tomografia	
		0.	11,58	878,8 (267,7)	1122,67 (2,88)	533,47 (1,95)	1099,67 (0,57)	1143,67 (0,57)	585,2 (3,55)	442,67 (0,96)	888 (0,2)	1078 (1,73)	1140 (3,60)	708 (2,78)	1001,43 (4,87)	1095,67 (3,51)	584,07 (2,58)	mm ³	Média (DP)	Crânio-antes-3	
0.1	1,94 (000	(4,26)	867,1 (266,2)	1115,33 (0,57)	519,33 (1,43)	1089 (1)	1132 (1,73)	574,86 (3,89)	439,36 (1,36)	875,96 (3,32)	1068 (2)	1126 (2)	698,4 (2,98)	980,4 (3,83)	1079,66 (4,16)	573,73 (4,04)	mm ³	Média (DP)	Crânio-depois-3	
49	(4,53)	0.0	9,64	886,8 (273)	1160 (0)	543,3 (0)	1103 (0)	1129 (0)	543,66 (0,05)	433,8 (0)	890,06 (0,05)	1094 (0)	1116 (0)	688,73 (0,05)	1059 (0)	1117 (0)	650,4 (0)	mm ³	Média (DP)	Isopor-antes-3	
			(5,2)	877,1 (270,1)	1153,33 (0)	535,6 (0)	1094 (0)	1122 (0)	540,16 (0,05)	430,66 (0,05)	884,83 (0,05)	1077 (0)	1096 (0)	679,9 (0)	1043 (0)	1106 (0)	640,2 (0)	mm ³	Média (DP)	Isopor-depois-3	s ac aquisição, c o
		0	13,9	891,4 (275,2)	1152,33 (4,04)	545,2 (3,46)	1111,33 (2,88)	1149,66 (2,30)	585,13 (3,42)	442,33 (1,70)	900,23 (3,37)	1099,33 (1,15)	1160 (1,15)	712,7 (1,94)	1025,33 (2,88)	1118,33 (0,57)	586,1 (1,6)	mm ³	Média (DP)	Crânio-antes-2	
0.0	6,31 (.000	1 (5,42)	877,5 (272,5)	1141,66 (0,57)	534,23 (2,80)	1098,66 (1,52)	1132 (1)	573,46 (2,15)	434 (0,91)	896,56 (2,47)	1077,67 (1077,67)	1141,33 (1,52)	698,53 (2,77)	1001,93 (2,75)	1103,33 (2,08)	573,76 (1,13)	mm ³	Média (DP)	Crânio-depois-2	
01	4,87)	0.	7,59	895,4 (272,7)	1167 (0)	553,63 (0)	1108 (0)	1148 (0)	569,1 (0)	451 (0)	868,13 (0,05)	1106 (0)	1147 (0)	692,36 (0,05)	1049 (0)	1131 (0)	650,2 (0)	mm ³	Média (DP)	Isopor-antes-2	a tempoa.
		000	(3,84)	887,8 (271,7)	1162 (0)	547,66 (0)	1101 (0)	1140 (0)	561,4 (0)	444,6 (0)	865,43 (0,05)	1094 (0)	1129 (0)	684,3 (0)	1045 (0)	1124 (0)	643,3 (0)	mm ³	Média (DP)	Isopor-depois-2	

Teste T de Student pareado, p<0.05, aplicado às comparações 1 e 2.

37

p valor	Comparação 2 Diferença	p valor	Comparação 1 Diferença	Todos	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	З	2	1		Dente	Tomografia	Tabela 2 – Anális
		0.	0,66	20,65 (1,44)	20,89 (0,01)	20,9 (0,03)	19,79 (0,01)	20,56 (0,04)	21,65 (0,04)	20,39 (0,005)	19,3 (0,01)	19,62 (0,005)	20,04 (0,02)	22,32 (0,01)	19,65 (0,04)	19,05 (0,04)	24,32 (0,04)	mm	Média (DP)	Crânio-antes-3	se descritiva dos c
0.8	0,007	000	(0,31)	19,98 (1,37)	20,49 (0,01)	20,37 (0,02)	18,98 (0,05)	19,91 (0,03)	20,54 (0,02)	19,9 (0,02)	19,27 (0,05)	19,3 (0,08)	19,13 (0,02)	21,48 (0,04)	18,56 (0,06)	18,4 (0,02)	23,51 (0,01)	mm	Média (DP)	Crânio-depois-3	comprimentos dentá
27	(0,12)	0.0	0,65	20,65 (1,45)	20,96 (0,01)	21,02 (0,01)	19,87 (0,01)	20,42 (0,01)	21,44 (0,06)	20,11 (0,03)	19,4 (0,02)	19,67 (0,04)	20 (0,02)	22,25 (0,005)	19,78 (0)	19,05 (0,02)	24,5 (0,04)	mm	Média (DP)	Isopor-antes-3	rios nos diferentes
		000	(0,30)	19,99 (1,34)	20,38 (0,01)	20,44 (0,01)	18,98 (0,02)	19,85 (0,04)	20,48 (0,02)	19,78 (0,04)	19,25 (0,05)	19,43 (0,03)	19,19 (0,01)	21,33 (0,02)	18,62 (0,04)	18,6 (0,01)	23,6 (0,02)	mm	Média (DP)	Isopor-depois-3	tempos de aquisiç
		0.0	0,66	20,67 (1,42)	20,99 (0,04)	21,04 (0,07)	19,83 (0,02)	20,47 (0,01)	21,71 (0,03)	20,28 (0,02)	19,35 (0,01)	19,83 (0,03)	20,03 (0,01)	22,33 (0,02)	19,64 (0,02)	19,07 (0,03)	24,24 (0,02)	mm	Média (DP)	Crânio-antes-2	ão; e comparações
0.7	0,008	000	(0,28)	20,01 (1,33)	20,55 (0,02)	20,48 (0,03)	19,02 (0,03)	19,87 (0,04)	20,63 (0,01)	19,78 (0,02)	19,27 (0,03)	19,4 (0,06)	19,14 (0,05)	21,5 (0,04)	18,61 (0,03)	18,58 (0,03)	23,4 (0,02)	mm	Média (DP)	Crânio-depois-2	s 1 e 2 dos comprim
776	(0,10)	0.0	0,66	20,69 (1,43)	20,99 (0,01)	21,01 (0,01)	19,85 (0,02)	20,47 (0,02)	21,66 (0,04)	20,16 (0,02)	19,33 (0,02)	19,84 (0,04)	20,05 (0,04)	22,3 (0,01)	19,85 (0,06)	19,07 (0,03)	24,39 (0,04)	mm	Média (DP)	Isopor-antes-2	nentos, entre os ter
		000	(0,31)	20,02 (1,35)	20,42 (0,02)	20,49 (0,02)	18,94 (0,03)	19,87 (0,01)	20,55 (0,02)	19, 9 (0,05)	19,17 (0,02)	19,43 (0,02)	19,22 (0,005)	21,4 (0,04)	18,66 (0,01)	18,63 (0,01)	23,6 (0,02)	mm	Média (DP)	Isopor-depois-2	npos.

l este 1 de Student pareado, p<0.05, aplicado ás comparaçoes 1 e 2.

38

Variável	Volume		Compriment	0
Comparação	Coeficiente de correlação de concordância	95% IC	Coeficiente de correlação de concordância	95% IC
Crânio-antes-2 x Crânio-antes-3	0,9981	0,9954 a 0,9993	0,9978	0,9931 a 0,9993
Crânio-depois-2 x Crânio-depois-3	0,9984	0,9956 a 0,9994	0,9978	0,9936 a 0,9992
Isopor-antes-2 x Isopor-antes-3	0,9981	0,9940 a 0,9994	0,9978	0,9931 a 0,9993
Isopor-depois-2 x Isopor-depois-3	0,9981	0,9942 a 0,9994	0,9991	0,9971 a 0,9997
	- ~			

Tabela 3 – Volumes e comprimentos dentários entre os valores de *voxel* testados.

Concordância de Lin aplicada para a comparação 3.

 Tabela 4 – Volumes e comprimentos dentários entre as bases testadas.

Variavel	Volume			Comprimento
Comparação	Coeficiente de correlação	95% IC	Comparação	Coeficiente de correlação
	de concordância			de concordância
Crânio-antes-2 x Isopor-antes-2	0366'0	0,9872 a 0,9988	0,9982	0,9944 a 0,9994
Crânio-antes-3 x Isopor-antes-3	0,9927	0,9766 a 0,9977	0,9953	0,9849 a 0,9986
Crânio-depois-2 x Isopor-depois-2	0,9946	0,9826 a 0,9983	0,9973	0,9916 a 0,9991
Crânio-depois-3 x Isopor-depois-3	0,9922	0,9749 a 0,9976	0,9970	0,9906 a 0,9990

Concordância de Lin aplicada para a comparação 4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. Bakland LK. Root resorption. Dent Clin North Am 1992;36: 491-507.
- Harris EF, Kineret SE, Tolley EA. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1997;111:301-9.
- McNab S, Battistutta D, Taverne A, Symons AL. External apical root resorption of posterior teeth in asthmatics after orthodontic treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1999;116:545-51.
- 4. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001;119:505-10.
- Parker RJ, Harris EF. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1998;114:677-83.
- 6. Ramanathan C, Hofman Z. Root resorption during orthodontic tooth movements. Eur J Orthod 2009;31:578-83.
- 7. Linge BO, Linge L. Apical root resorption in upper anterior teeth. Eur J Orthod 1983;5:173-83.
- Artun J, Smale I, Behbehani F, Doppel D, Van't Hof M, Kuijpers-Jagtman AM. Apical root resorption six and 12 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. Angle Orthod 2005;75:919-26.
- 9. Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2010;137:462-76.
- Ponder SN, Benavides E, Kapila S, Hatch NE. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography: A volumetric and linear analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013;143:77-91.
- 11. Sameshima GT, Asgarifar K. O. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. Angle Orthod 2001;71:185-9.
- 12. Chan E, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 5. Volumetric analysis of root resorption craters after application of light and heavy orthodontic forces. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2005;127:186-95.
- Amano M, Agemtsu H, Abe S, Usami A, Matsunaga S, Suto K et al. Threedimensional analysis of pulp chambers in maxillary second deciduous molars. J Dent 2006;34:503-8.
- 14. Dudic A, Giannopoulou C, Martinez M, Montet X, Kiliaridis S. Diagnostic accuracy of digitized periapical radiographs validated against micro-computed tomography scanning in evaluating orthodontically induced apical root resorption. Eur J Oral Sci 2008;116:467-72.

- Artun J, Van't Hullenaar R, Doppel D, Kuijpers-Jagtman AM. Identification of orthodontic patients at risk of severe apical root resorption. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;135(4):448-55.
- Ono E, Medici Filho E, Faig Leite H, Tanaka JL, De Moraes ME, De Melo Castilho JC. Evaluation of simulated external root resorptions with digital radiography and digital subtraction radiography. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2011;139:324-33.
- 17. Mavidrou AM, Pyka G, Kerckhofs G, Wevers M, Bergmans L, Gunst V, et al. A novel multimodular methodology to investigate external cervical tooth resorption. Int Endod J 2015;49:287-300.
- Wang Y, He S, Yu L, Li J, Chen S. Accuracy of volumetric measurement of teeth in vivo based on cone beam computer tomography. Orthod Craniofac Res 2011;14:206-12.
- 19. Chan EK, Darendeliler MA, Petocz P, Jones AS. A new method for volumetric measurement of orthodontically induced root resorption craters. Eur J Oral Sci 2004;112:134-9.
- Dudic A, Giannopoulou C, Leuzinger M, Kiliaridis S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;135:434-7.
- 21. Mah J, Sachdeva R. Computer-assisted orthodontic treatment: the SureSmile process. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001;120:85-7.
- 22. Huang J, Bumann A, Mah J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. J Clin Orthod 2005;39:421-8.
- 23. Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. Dentomaxillofac Radiol 2015;44:20140282.
- 24. Sedentex CT (2009). Provisional guidelines on Radiation protection: CBCT for dental and maxillofacial radiology. Available from: http://www.sedentexct.eu/system/files/sedentexct_project_provisional_guidelines.pdf.
- Visconti MA, Verner FS, Assis NM, Devito KL. Influence of maxillomandibular positioning in cone beam computed tomography for implant planning. Int J Oral Maxillofac Surg 2013;42:880-6.
- 26. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. Userguided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. Neuroimage 2006;31:1116-28.
- 27. Liu Y, Olszewski R, Alexandroni ES, Enciso R, Xu T, Mah JK. The validity of in vivo tooth volume determinations from cone-beam computed tomography. Angle Orthod 2010;80:160-6.
- Lund H, Gröndahl K, Gröndahl HG. Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. Angle Orthod 2010;80:466-73.

- 29. Baysal A, Karadede I, Hekimoglu S, Ucar F, Ozer T, Veli I, et al. Evaluation of root resorption following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. Angle Orthod 2012;82:488-94.
- 30. Li W, Chen F, Zhang F, Ding W, Ye Q, Shi J, et al. Volumetric measurement of root resorption following molar mini-screw implant intrusion using cone beam computed tomography. PLoS One 2013;8:e60962.
- 31. Ajmera S, Venkatesh S; Ganeshkar SV. Volumetric evaluation of root resorption during orthodontic treatment. J Clin Orthod 2014;48:113-9.
- 32. Forst D, Nijjar S, Flores-Mir C, Carey J, Secanell M, Lagravere M. Comparison of in vivo 3D cone-beam computed tomography tooth volume measurement protocols. Prog Orthod 2014;15:69.
- 33. Mah P, Reeves TE, Mcdavid WD. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. Dentomaxillofac Radiol 2010;39:323-35.
- Weissheimer A, Menezes LM, Sameshima GT, Enciso R, Pham J, Grauer D. Imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the upper airway. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2012;142:801-13.
- 35. Neves FS, de Freitas DQ, Campos PS, de Almeida SM, Haiter-Neto F. In vitro comparison of cone beam computed tomography with different voxel sizes for detection of simulated external root resorption. J Oral Sci 2012;54:219-25.
- 36. Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of *voxel* size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. J Endod 2009;35:233-5.
- Maret D, Telmon N, Peters OA, Lepage B, Treil J, Inglèse JM, et al. Effect of voxel size on the accuracy of 3D reconstructions with cone beam CT. Dentomaxillofac Radiol 2012;41:649-55.
- 38. Bryant JA, Drage NA, Richmond S. Study of the scan uniformity from an i-CAT cone beam computed tomography dental imaging system. Dentomaxillofac Radiol 2008;37:365-74.
- 39. Rodrigues AF, Campos MJ, Chaoubah A, Fraga MR, Farinazzo Vitral RW. Use of gray values in CBCT and MSCT images for determination of density: influence of variation of FOV size. Implant Dent 2015:24:155-9.

ARTIGO 2

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO VOXEL E DA ESCALA DE CINZA NA AVALIAÇÃO DO COMPRIMENTO DENTÁRIO EM DENTES SEGMENTADOS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO

RESUMO

Objetivos

Dentre as ferramentas disponíveis nos atuais programas de processamento de imagens está o processo de segmentação de estruturas. Este estudo foi realizado visando verificar se o tamanho do *voxel* e a escala de cinza influenciam na segmentação do dente e na mensuração do seu comprimento pós-segmentação.

Métodos

Treze dentes distribuídos em dois crânios secos foram submetidos a quatro exames tomográficos, sendo: duas aquisições com os dentes inseridos nos seus respectivos alvéolos do crânio seco (*voxel* de 0,2 e 0,3 mm); e outras duas aquisições com os dentes na base de isopor, nas mesmas condições. Os dentes das imagens de TCFC foram segmentados no programa *ITK-SNAP*[®] e foram importados no programa *NETFABB BASIC*[®] para as mensurações lineares virtuais (grupo experimental). Os dentes também foram medidos com paquímetro digital (grupo controle).

Resultados

O coeficiente de correlação intraclasse intra-examinador esteve acima de 0,99 em todas as comparações, revelando reprodutibilidade excelente do método. Os comprimentos foram comparados variando o *voxel* (0,2 e 0,3 mm), a base (crânio ou isopor) e os grupos testados, pela Concordância de Lin e pela Análise de Bland-Altman. As comparações revelaram concordância quase perfeita entre as medidas virtuais e reais.

Conclusões

O dente segmentado teve seu comprimento mensurado de forma precisa e acurada, através da metodologia deste trabalho. O *voxel* e a variação na escala de cinza não interferiram na segmentação e na mensuração do comprimento no dente segmentado. Mas, se a diminuição do *voxel* estiver relacionada ao aumento da dose de radiação do paciente, recomenda-se utilizar o *voxel* de 0,3mm.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico; Dente; Programas de Computação.

INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) e os programas de processamento de registros *DICOM* (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) estão se tornando cada vez mais eficazes para proporcionar um diagnóstico preciso e acurado. Uma das ferramentas disponíveis nesses programas é a segmentação volumétrica das estruturas, que pode ser definida como a seleção dos *voxels* da estrutura de interesse, combinação desses

voxels selecionados, sua transformação em um objeto virtual tridimensional e a separação deste, das demais estruturas, para melhor visualização e análise.¹

Dentre os programas de processamento de imagens está o *ITK-SNAP*[®], que foi projetado com foco na ferramenta de segmentação, manual e semiautomática, de estruturas anatômicas. Além disso, ele é gratuito e pode ser instalado em qualquer sistema operacional, sendo amplamente acessível.² Na segmentação manual, o operador seleciona os *voxels* de interesse, corte a corte, que, após serem combinados, formam um volume tridimensional (3D). Já na segmentação semi-automática, o operador delimita a área de interesse e o intervalo desejado na escala de tons de cinza e o computador seleciona automaticamente os *voxels*.³

A segmentação 3D pode ser influenciada, principalmente, pelo tamanho do *voxel* e pela escala de cinza.^{4,5} Em relação à dimensão do *voxel*, sabe-se que seu tamanho é inversamente proporcional à resolução espacial da imagem adquirida.^{6,7} Quanto à escala de cinza, o intervalo selecionado para segmentação pode ser interativo ou fixo.^{5,8} Além disso, na TCFC, a escala não é padronizada,⁹ sendo influenciada por uma série de fatores, como diferença entre os aparelhos tomográficos,^{8,10,11} ruído na imagem,¹² protocolo de aquisição, posição do objeto dentro do campo de visão (FOV),¹¹ massa presente fora do FOV (exomassa),^{10,13,14} massa dentro do FOV¹³ e tamanho do FOV.^{10,15}

Devido aos avanços nos tomógrafos de feixe cônico e nos programas de análise dos arquivos *DICOM*, é possível obter informações vantajosas do paciente virtual no cenário clínico.¹ Sendo assim, o objetivo neste trabalho foi verificar se o tamanho do *voxel* e a escala de cinza influenciam na

45

segmentação do dente e na mensuração do seu comprimento póssegmentação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostra

Foram incluídos, no estudo, crânios com dentes íntegros, independente do número de raízes, que fossem facilmente removidos dos seus alvéolos, sem fratura da cortical óssea. Foram excluídos os dentes que fraturaram durante o estudo ou que apresentaram condições que alterassem sua escala de cinza nas imagens tomográficas. Este estudo foi realizado após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ (parecer nº 1.351.052/2015).

Cada um dos treze dentes deste estudo foi submetido a quatro aquisições tomográficas (TCFC), variando a base onde estavam inseridos (crânio ou isopor) e o tamanho do *voxel* (0,2 ou 0,3 mm), totalizando 52 imagens e gerando as imagens: TCFC Crânio-2, TCFC Crânio-3, TCFC Isopor-2 e TCFC Isopor-3.

Dois grupos experimentais foram estabelecidos: Grupo Experimental Crânio (GEC) composto pelos comprimentos virtuais dos dentes escaneados dentro do alvéolo do crânio; e Grupo Experimental Isopor (GEI) composto pelos comprimentos virtuais dos dentes escaneados na base de isopor. O grupo controle (GC) foi composto pelos comprimentos reais dos dentes mensurados com o paquímetro digital (padrão-ouro).

Obtenção das imagens

As raízes dos dentes foram envolvidas em uma fina camada de cera de articulação e inseridas nos respectivos alvéolos. Foi realizada uma marcação entre o dente e o alvéolo, por lingual, para padronizar a posição do mesmo. Os crânios com os dentes foram colocados em um posicionador de acrílico específico e padronizado, com base no plano sagital mediano (PSM) e no plano horizontal de Frankfurt (PHF), perpendicular e paralelo ao solo, respectivamente.¹⁶ As imagens tomográficas foram realizadas pelo aparelho *KODAK K9500*[®] (Carestream Health, Rochester, USA), seguindo dois protocolos distintos: protocolo 1: 90 kV, 10 mA, *voxel*= 0,3 mm, FOV= 20x18 cm e tempo de rotação de 10,8 s; e protocolo 2: 90 kV, 10 mA, *voxel*= 0,2 mm, FOV= 15x9 cm e tempo de rotação de 10,8 s (TCFC Crânio-3 e TCFC Crânio-2, respectivamente).

Em seguida, os dentes foram encaixados em uma base de isopor. A base foi colocada no posicionador e, ao seu redor, foi colocada uma caixa constituída de cera, para atenuar os feixes de raios-X e simular os tecidos moles.¹⁶ Novamente foram realizadas aquisições tomográficas seguindo os mesmos protocolos (TCFC Isopor-3 e TCFC Isopor-2).

Segmentação tridimensional dos dentes

Os exames tomográficos foram salvos no formato *DICOM* e todos esses registros foram importados no programa *ITK-SNAP[®] versão 3.4.0* (Penn Image Computing and Science Laboratory - Pennsylvania, USA)² para a segmentação semi-automática do dente, com intervalo fixo (\geq 900). Os dentes do GEI foram segmentados sem refinamento manual, e os dentes do GEC, com refinamento manual pelo examinador, corte a corte (Figura 1). Cada dente foi segmentado três vezes e as segmentações foram salvas no formato STL (*Standard Tessellation Language*).

Mensuração linear virtual e real

Os três arquivos STL de cada dente foram importados para o programa *NETFABB BASIC[®] versão* 6.4.0 (Netfabb GmbH), no qual, foi realizada a mensuração linear virtual do comprimento do dente, três vezes para cada segmentação, calculando-se a média do comprimento individual do dente.

Cada comprimento foi mensurado manualmente no programa, envolvendo a maior distância, de uma extremidade à outra do dente segmentado. Para os caninos, essa distância correspondia da ponta do bordo incisal ao ápice da raiz; nos pré-molares superiores, da ponta da cúspide vestibular ao ápice da raiz vestibular; nos pré-molares inferiores, da ponta da cúspide vestibular ao ápice da raiz; nos molares superiores, da ponta da cúspide mésio-palatina ao ápice da raiz palatina; e nos molares inferiores, da ponta da cúspide mésio-lingual ao ápice da raiz mesial (Figura 2).

Com o paquímetro digital de leitura de 0,01 mm (*Orthopli Corporation*) foram reproduzidas as mesmas mensurações, agora nos espécimes reais, para comparação com as medidas virtuais obtidas no programa *NETFABB BASIC*[®] (Figura 2).

Comparações das medidas

Considerando-se a base que o dente foi inserido (crânio ou isopor), o *voxel* (0,3 ou 0,2mm) e o grupo (GEC, GEI, GC) foram comparadas seis situações, para cada dente, como descrito no Quadro 1.

Análise estatística

Visando calcular a confiabilidade das medidas e a calibração do examinador, após duas semanas, 30% da amostra foi remedida e o Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) intra-examinador foi calculado no programa BioEstat 5.3 (*Instituto Mamirauá, Amazonas, Brasil*). Os dados descritivos e inferenciais foram analisados pelos programas Microsoft *Excel[®]* (*Microsoft,* Redmond, WA, USA) e *R-3.5.2[®]* (The R Foundation, versão 3.5.2, r-project.org). Foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados e a avaliação da concordância entre o comprimento virtual e real dos dentes, com *voxel* de 0,2 e 0,3 mm, foi estabelecida pela Concordância de Lin e a Análise de Bland-Altman

RESULTADOS

Reprodutibilidade das medidas

O método utilizado apresentou reprodutibilidade excelente, no qual os coeficientes de correlação intra-classe (ICC) intra-examinador foram de 0,9997 (IC 95% de 0,9985 a 0,9999) para o *voxel* de 0,3 mm; 0,9998 (IC 95% 0,9991 a 1) para o *voxel* de 0,2 mm; e 0,9999 (IC 95% 0,9996 a 1) para o paquímetro.

Comparações das medidas

Os dados obtidos apresentaram distribuição normal e foram analisados com estatística descritiva (Tabela 1) e estatística inferencial (Tabela 2 e Figura 3). Foi possível observar um desvio-padrão muito baixo entre as três medidas de cada dente (0 a 0,08 mm) e um desvio-padrão maior na média dos 13 dentes, já que se tratavam de 13 dentes distintos (caninos, pré-molares e

molares). Observou-se ainda que, dentre as cinco mensurações do mesmo dente, comparando-se a medida real (paquímetro) com as suas respectivas medidas virtuais (TCFC), os valores eram muito próximos entre si, variando de 0,01 a 0,27mm, que é um valor muito preciso e muito pequeno, com concordância estatística quase perfeita entre as medidas reais e virtuais.

DISCUSSÃO

A metodologia utilizada uniu um exame acessível ao paciente – TCFC com *voxel* de 0,2 ou 0,3 mm – à facilidade de acesso, pelos profissionais, aos programas gratuitos utilizados– *ITK-SNAP*[®] e *NETFABB BASIC*[®] – e mostrouse precisa e acurada para segmentação e determinação do comprimento dentário pós-segmentação. Além disso, o cálculo do ICC intra-examinador revelou reprodutibilidade excelente do método.

A TCFC é utilizada como ferramenta padrão para mensurar o comprimento dentário^{7,17-22} e alguns estudos compararam a mensuração física de determinadas estruturas anatômicas à sua correspondente mensuração virtual, através da TCFC, encontrando diferenças de 0,07 a 0,26mm.¹⁷⁻²⁰ No presente estudo, a diferença encontrada entre a medida real e a virtual, de cada dente, variou entre 0,01 e 0,27mm, mostrando precisão, ainda maior, na metodologia deste trabalho.

Quatro opções de tamanho do *voxel* são as mais utilizadas para determinação do comprimento dentário em imagens de TCFC: 0,125 mm, 0,2 mm, 0,3 mm, ou 0,4 mm.^{6,7} Alguns autores recomendam utilizar o menor tamanho de *voxel* possível, quando o objetivo do exame for diagnosticar pequenas alterações.^{6,7,23} Ponder e colaboradores (2013)⁷ concluíram que
tanto os *voxels* de alta (0,2 mm) como os de baixa resolução (0,4 mm) permitem a quantificação linear acurada para o comprimento dentário, sendo mais precisos que as radiografias periapicais. Liedke *et al.*, (2009)²¹ constataram que, entre os *voxels* de 0,2, 0,3 e 0,4mm, os dois menores apresentaram resoluções similares para a quantificação dentária, e, dentre eles, o *voxel* de 0,3 mm se ressalta, uma vez que combina boa resolução à menor dose de radiação para o paciente, a depender do tomógrafo. No presente estudo, ambos os *voxels* utilizados permitiram mensurações virtuais fiéis às mensurações reais dos dentes.

Quanto ao intervalo da escala de cinza selecionado, ele pode ser interativo ou fixo. O intervalo interativo baseia-se na percepção visual do operador em determinar os limites do que está sendo segmentado. Contudo, a visão humana está sujeita a vários fatores como condições luminosas, fadiga e acuidade visual.^{5,8} Visando eliminar a subjetividade do operador na seleção dos limites, neste estudo, foi utilizado o protocolo de segmentação semi-automática, com intervalo fixo da escala de cinza fixa (≥900) para todas as imagens.

Além disso, a escala de cinza pode ser influenciada por vários fatores como diferença entre os aparelhos tomográficos,^{8,10,11} ruído na imagem,¹² protocolo de aquisição, posição do objeto dentro do campo de visão (FOV),¹¹ massa presente fora do FOV (exomassa),^{10,13,14} massa dentro do FOV¹³ e tamanho do FOV.^{10,15} Neste estudo, todas as imagens foram realizadas com o objeto estático, no mesmo tomógrafo e com o mesmo protocolo de aquisição. As únicas variações foram o tamanho do *voxel* (0,2 ou 0,3 mm), e consequentemente, o tamanho do FOV (15x9 ou 20x18 cm), além da base

onde o dente estava inserido (crânio ou isopor). Essas variações, por si só, são capazes de alterar a escala de cinza do dente. No entanto, neste estudo, estas alterações não influenciaram de forma significativa na segmentação e na determinação dos comprimentos dentários, já que houve concordância quase perfeita entre as medidas dos grupos GC, GEC e GEI.

Em conclusão, o dente segmentado teve seu comprimento mensurado de forma precisa e acurada, através da metodologia deste trabalho. A variação nos *voxels* (0,2 ou 0,3 mm), nas bases (isopor ou crânio) e, consequentemente, na escala de cinza não interferiram na segmentação e na mensuração do comprimento dentário no dente segmentado. Porém, se a diminuição do *voxel* estiver relacionada ao aumento da dose de radiação emitida ao paciente, recomenda-se utilizar o *voxel* de 0,3 mm.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de pós-graduação em Ortodontia da UFRJ, sob coordenação do Dr. Eduardo Franzotti Sant'Anna e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro e profissional, com a bolsa de estudos durante o curso.

Comparações
TCFC Crânio-2 x Paquímetro
TCFC Crânio-3 x Paquímetro
TCFC Crânio-2 x TCFC Crânio-3
TCFC Isopor-2 x Paquímetro
TCFC Isopor-3 x Paquímetro
TCFC Isopor-2 x TCFC Isopor-3

Quadro 1 – Seis comparações realizadas para cada um dos 13 dentes.



Figura 1 – Segmentação semi-automática do dente no programa *ITK-SNAP*[®]. (A) GEI, sem refinamento manual; (B) GEC, pós-refinamento manual.



Figura 2 – Mensuração das extremidades do molar superior. (A) Mensuração virtual no Programa *NETFABB BASIC*[®]; (B) Mensuração real com o paquímetro digital.



Figura 3 - Gráficos de Bland-Altman com as seis comparações realizadas nesse estudo.

<u>ұ</u>

Dente	TCFC Crânio-3	TCFC Isopor-3	Paquímetro	TCFC Crânio-2	TCFC Isopor-2
	Média (DP)				
1	23,51 (0,01)	23,6 (0,02)	23,59 (0,01)	23,4 (0,02)	23,6 (0,02)
2	18,4 (0,02)	18,6 (0,01)	18,54 (0,005)	18,58 (0,03)	18,63 (0,01)
3	18,56 (0,06)	18,62 (0,04)	18,60 (0,02)	18,61 (0,03)	18,66 (0,01)
4	21,48 (0,04)	21,33 (0,02)	21,4 (0,01)	21,5 (0,04)	21,4 (0,04)
5	19,13 (0,02)	19,19 (0,01)	19,27 (0,01)	19,14 (0,05)	19,22 (0,005)
6	19,3 (0,08)	19,43 (0,03)	19,57 (0,01)	19,4 (0,06)	19,43 (0,02)
7	19,27 (0,05)	19,25 (0,05)	19,33 (0,01)	19,27 (0,03)	19,17 (0,02)
8	19,9 (0,02)	19,78 (0,04)	20 (0,01)	19,78 (0,02)	19, 9 (0,05)
9	20,54 (0,02)	20,48 (0,02)	20,65 (0,01)	20,63 (0,01)	20,55 (0,02)
10	19,91 (0,03)	19,85 (0,04)	20,04 (0)	19,87 (0,04)	19,87 (0,01)
11	18,98 (0,05)	18,98 (0,02)	19,09 (0,03)	19,02 (0,03)	18,94 (0,03)
12	20,37 (0,02)	20,44 (0,01)	20,55 (0,01)	20,48 (0,03)	20,49 (0,02)
13	20,49 (0,01)	20,38 (0,01)	20,52 (0,005)	20,55 (0,02)	20,42 (0,02)
Todos	19,98 (1,37)	19,99 (1,34)	20,08 (1,34)	20,01 (1,33)	20,02 (1,35)

Tabela 1 – Análise descritiva dos comprimentos dentários, em mm, nos diferentes tempos de aquisição.

Tabela 2 – Comparações entre os grupos controle e experimentais, com *voxel* de 0,2 e 0,3 mm.

Variável	Comprimento			
Comparações	Coeficiente	95% IC	Correlação	Fator de
	de correlação		de	correção de
	de		Pearson	Bias (acuráci
	concordância		(precisão)	a)
TCFC Crânio-2 x Paquímetro	0,9957	0,9867 a 0,9986	0,9973	0,9984
TCFC Crânio-3 x Paquímetro	0,9952	0,9865 a 0,9983	0,9983	0,9969
TCFC Crânio-2 x TCFC Crânio-3	0,9978	0,9936 a 0,9992	0,9985	0,9993
TCFC Isopor-2 x Paquímetro	0,9967	0,9899 a 0,9989	0,9981	0,9987
TCFC Isopor-3 x Paquímetro	0,9955	0,9867 a 0,9985	0,9981	0,9974
TCFC Isopor-2 x TCFC Isopor-3	0,9991	0,9971 a 0,9997	0,9993	0,9998

Concordância de Lin

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. Grauer D, Cevidanes LS, Proffit WR. Working with DICOM craniofacial images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009; 136:460-70.
- Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage* 2006; 31:1116-28.
- 3. El H, Palomo JM. Measuring the airway in 3 dimensions: a reliability and accuracy study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010; 137:S50.e1-9 discussion S50-2.
- 4. Maret D, Telmon N, Peters OA, Lepage B, Treil J, Inglèse JM, et al. Effect of voxel size on the accuracy of 3D reconstructions with cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2012; 41:649-55.
- Weissheimer A, Menezes LM, Sameshima GT, Enciso R, Pham J, Grauer D. Imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the upper airway. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 142:801-13.
- Neves FS, de Freitas DQ, Campos PS, de Almeida SM, Haiter-Neto F. In vitro comparison of cone beam computed tomography with different voxel sizes for detection of simulated external root resorption. *J Oral Sci* 2012; 54:219-25.
- Ponder SN, Benavides E, Kapila S, Hatch NE. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography: A volumetric and linear analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 143:77-91.
- 8. Mah P, Reeves TE, Mcdavid WD. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2010; 39:323-35.
- 9. Scarfe WC, Li Z, Aboelmaaty W, Scott SA, Farman AG. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Aust Dent J*, 2012; 57:46-60.
- 10. Katsumata A, Hirukawa A, Okumura S, Naitoh M, Fujishita M, Ariji E, et al. Effects of image artifacts on gray-value density in limited-volume cone-beam computerized tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2007; 104:829-36.
- 11. Nackaerts O, Maes F, Yan H, Couto Souza P, Pauwels R, Jacobs R. Analysis of intensity variability in multislice and cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res*, 2011; 22:873-9.
- 12. Groh BA, Siewerden JH, Drake DG, Wong JW, Jaffray DA. A performance comparison of flat-panel imager-based MV and kV cone-beam CT. *Med Phys*, 2002; 29:967-75.
- 13. Bryant JA, Drage NA, Richmond S. Study of the scan uniformity from an i-CAT cone beam computed tomography dental imaging system. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37:365-74.
- 14. Katsumata A, Hirukawa A, Okumura S, Naitoh M, Fujishita M, Ariji E, et al. Relationship between density variability and imaging volume size in cone-beam

computerized tomographic scanning of the maxillofacial region: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2009; 107:420-5.

- Rodrigues AF, Campos MJ, Chaoubah A, Fraga MR, Farinazzo Vitral RW. Use of gray values in CBCT and MSCT images for determination of density: influence of variation of FOV size. *Implant Dent*, 2015; 24:155-9.
- 16. Visconti MA, Verner FS, Assis NM, Devito KL. Influence of maxillomandibular positioning in cone beam computed tomography for implant planning. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013; 42:880-6.
- 17. Kobayashi K, Shimoda S, Nakagawa Y, Yamamoto A. Accuracy in measurement of distance using limited cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2004; 19:228-31.
- Pinsky HM, Dyda S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of threedimensional measurements using cone-beam CT. *Dentomaxillofac Radiol*, 2006; 35:410-6.
- 19. Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L, Neugebauer J, Brochhagen HG, Keeve E, et al. Geometric accuracy of a newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2007; 104:551-9.
- 20. Stratemann SA, Huang JC, Maki K, Miller AJ, Hatcher DC. Comparison of cone beam computed tomography imaging with physical measures. *Dentomaxillofac Radiol*, 2008; 37:80-93.
- Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod* 2009; 35:233-5.
- 22. Lund H, Gröndahl K, Gröndahl HG. Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2010; 80:466-73.
- 23. Ajmera S, Venkatesh S; Ganeshkar SV. Volumetric evaluation of root resorption during orthodontic treatment. *J Clin Orthod* 2014; 48:113-9.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta uma metodologia de avaliação quantitativa da reabsorção radicular lateral e apical, através da TCFC - com *voxels* de 0,2 e 0,3 mm - e de dois programas de segmentação e mensuração - *ITK-SNAP*[®] e *NETFABB BASIC*[®] - amplamente acessível para pacientes e profissionais.

- 5.1 Considerando as três variáveis testadas, foi possível observar que:
 - 5.1.1 Todos os dentes apresentaram redução do volume médio e do comprimento médio, com diferença estatística entre os tempos testados, tanto no GC quanto no GE, mostrando fidelidade nas segmentações;
 - 5.1.2 A reabsorção apical pode ser quantificada com precisão, através dessa metodologia, tanto com *voxel* de 0,2 quanto 0,3 mm. Já a reabsorção lateral é melhor quantificada com *voxel* de 0,3 mm. Além disso, o *voxel* de 0,3 mm pode apresentar menor dose de radiação para o paciente, a depender do tomógrafo;
 - 5.1.3 Tanto no comprimento, quanto no volume, quando a comparação foi feita entre os *voxels* e entre as bases, houve concordância quase perfeita entre as medidas;
 - 5.1.4 A variação nos voxels e na escala de cinza não interferiram na segmentação e na mensuração do comprimento dentário virtual em relação ao real.

5.2 A metodologia proposta mostrou-se altamente precisa, acurada e reprodutível, sendo possível posterior aplicação clínica. Porém a mensuração do volume é sensível a alterações na escala de cinza, ao contrário da mensuração do comprimento, então a padronização dos dois exames tomográficos comparados é primordial, para evitar que estas variáveis alterem a escala de cinza do dente analisado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJMERA, S.; SHIVANAND VENKATESH; GANESHKAR, S. V. Volumetric evaluation of root resorption during orthodontic treatment. **J Clin Orthod**, v. 48, n. 2, p. 113-9, Feb 2014. ISSN 0022-3875. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24763679</u> >.

AMANO, M. et al. Three-dimensional analysis of pulp chambers in maxillary second deciduous molars. **J Dent**, v. 34, n. 7, p. 503-8, Aug 2006. ISSN 0300-5712. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16442690</u> >.

ARTUN, J. et al. Apical root resorption six and 12 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. **Angle Orthod**, v. 75, n. 6, p. 919-26, Nov 2005. ISSN 0003-3219. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16448232</u> >.

_____. Identification of orthodontic patients at risk of severe apical root resorption. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 135, n. 4, p. 448-55, Apr 2009. ISSN 1097-6752. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19361730</u> >.

BAKLAND, L. K. Root resorption. **Dent Clin North Am,** v. 36, n. 2, p. 491-507, Apr 1992. ISSN 0011-8532. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1572510</u> >.

BAYSAL, A. et al. Evaluation of root resorption following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. **Angle Orthod,** v. 82, n. 3, p. 488-94, May 2012. ISSN 1945-7103. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21843038</u> >.

BRYANT, J. A.; DRAGE, N. A.; RICHMOND, S. Study of the scan uniformity from an i-CAT cone beam computed tomography dental imaging system. **Dentomaxillofac Radiol**, v. 37, n. 7, p. 365-74, Oct 2008. ISSN 0250-832X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18812597</u> >.

CHAN, E.; DARENDELILER, M. A. Physical properties of root cementum: Part 5. Volumetric analysis of root resorption craters after application of light and heavy orthodontic forces. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 127, n. 2, p. 186-95, Feb 2005. ISSN 0889-5406. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15750537</u> >.

CHAN, E. K.; DARENDELILER, M. A. Exploring the third dimension in root resorption. **Orthod Craniofac Res**, v. 7, n. 2, p. 64-70, May 2004. ISSN 1601-6335. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15180085</u> >.

CHAN, E. K. et al. A new method for volumetric measurement of orthodontically induced root resorption craters. **Eur J Oral Sci**, v. 112, n. 2, p. 134-9, Apr 2004. ISSN 0909-8836. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15056110</u> >.

DE OLIVEIRA, R. C. et al. Assessments of trabecular bone density at implant sites on CT images. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 105, n. 2, p. 231-8, Feb

2008. ISSN 1528-395X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18230392</u> >.

DUDIC, A. et al. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 135, n. 4, p. 434-7, Apr 2009. ISSN 1097-6752. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19361727</u> >.

_____. Diagnostic accuracy of digitized periapical radiographs validated against microcomputed tomography scanning in evaluating orthodontically induced apical root resorption. **Eur J Oral Sci**, v. 116, n. 5, p. 467-72, Oct 2008. ISSN 1600-0722. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18821990</u> >.

EL, H.; PALOMO, J. M. Measuring the airway in 3 dimensions: a reliability and accuracy study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 137, n. 4 Suppl, p. S50.e1-9; discussion S50-2, Apr 2010. ISSN 1097-6752. Disponível em: < http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20381759 >.

FORST, D. et al. Comparison of in vivo 3D cone-beam computed tomography tooth volume measurement protocols. **Prog Orthod,** v. 15, p. 69, 2014. ISSN 2196-1042. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25534123</u> >.

GRAUER, D.; CEVIDANES, L. S.; PROFFIT, W. R. Working with DICOM craniofacial images. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 136, n. 3, p. 460-70, Sep 2009. ISSN 1097-6752. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19732681</u> >.

GROH, B. A. et al. A performance comparison of flat-panel imager-based MV and kV cone-beam CT. **Med Phys,** v. 29, n. 6, p. 967-75, Jun 2002. ISSN 0094-2405. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12094992</u> >.

KOBAYASHI, K. et al. Accuracy in measurement of distance using limited cone-beam computerized tomography. **Int J Oral Maxillofac Implants,** v. 19, n. 2, p. 228-31, 2004 Mar-Apr 2004. ISSN 0882-2786. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15101594</u> >.

HARRIS, E. F.; KINERET, S. E.; TOLLEY, E. A. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 111, n. 3, p. 301-9, Mar 1997. ISSN 0889-5406. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9082853</u> >.

HUANG, J.; BUMANN, A.; MAH, J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. **J Clin Orthod**, v. 39, n. 7, p. 421-8, Jul 2005. ISSN 0022-3875. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16100415</u> >.

KAPILA, S. D.; NERVINA, J. M. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. **Dentomaxillofac Radiol**, v. 44, n. 1, p. 20140282, 2015. ISSN 0250-832X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25358833</u> >.

KATSUMATA, A. et al. Effects of image artifacts on gray-value density in limited-volume cone-beam computerized tomography. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod,** v. 104, n. 6, p. 829-36, Dec 2007. ISSN 1528-395X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17448704</u> >.

_____. Relationship between density variability and imaging volume size in cone-beam computerized tomographic scanning of the maxillofacial region: an in vitro study. **Oral**

Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, v. 107, n. 3, p. 420-5, Mar 2009. ISSN 1528-395X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18715805</u> >.

LEACH, H. A.; IRELAND, A. J.; WHAITES, E. J. Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. **Br Dent J,** v. 190, n. 1, p. 16-22, Jan 2001. ISSN 0007-0610. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11235970</u> >.

LI, W. et al. Volumetric measurement of root resorption following molar mini-screw implant intrusion using cone beam computed tomography. **PLoS One,** v. 8, n. 4, p. e60962, 2013. ISSN 1932-6203. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23585866</u> >.

LIEDKE, G. S. et al. Influence of *voxel* size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. **J Endod**, v. 35, n. 2, p. 233-5, Feb 2009. ISSN 1878-3554. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19166780</u> >.

LINGE, B. O.; LINGE, L. Apical root resorption in upper anterior teeth. **Eur J Orthod**, v. 5, n. 3, p. 173-83, Aug 1983. ISSN 0141-5387. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6578039</u> >.

LIU, Y. et al. The validity of in vivo tooth volume determinations from cone-beam computed tomography. **Angle Orthod,** v. 80, n. 1, p. 160-6, Jan 2010. ISSN 0003-3219. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19852656</u> >.

LUND, H.; GRÖNDAHL, K.; GRÖNDAHL, H. G. Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. **Angle Orthod,** v. 80, n. 3, p. 466-73, May 2010. ISSN 0003-3219. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20050738</u> >.

MAH, J.; SACHDEVA, R. Computer-assisted orthodontic treatment: the SureSmile process. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 120, n. 1, p. 85-7, Jul 2001. ISSN 0889-5406. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11455383</u> >.

MAH, P.; REEVES, T. E.; MCDAVID, W. D. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. **Dentomaxillofac Radiol**, v. 39, n. 6, p. 323-35, Sep 2010. ISSN 0250-832X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20729181</u> >.

MARET, D. et al. Effect of *voxel* size on the accuracy of 3D reconstructions with cone beam CT. **Dentomaxillofac Radiol**, v. 41, n. 8, p. 649-55, Dec 2012. ISSN 0250-832X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23166362</u> >.

MAVRIDOU, A. M. et al. A novel multimodular methodology to investigate external cervical tooth resorption. **Int Endod J,** v. 49, n. 3, p. 287-300, Mar 2015. ISSN 1365-2591. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25819599</u> >.

MCNAB, S. et al. External apical root resorption of posterior teeth in asthmatics after orthodontic treatment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 116, n. 5, p. 545-51, Nov 1999. ISSN 0889-5406. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10547515</u> >.

MISCHKOWSKI, R. A. et al. Geometric accuracy of a newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v.

104, n. 4, p. 551-9, Oct 2007. ISSN 1528-395X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17613260</u> >.

NACKAERTS, O. et al. Analysis of intensity variability in multislice and cone beam computed tomography. **Clin Oral Implants Res,** v. 22, n. 8, p. 873-9, Aug 2011. ISSN 1600-0501. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21244502</u> >.

NEVES, F. S. et al. In vitro comparison of cone beam computed tomography with different *voxel* sizes for detection of simulated external root resorption. **J Oral Sci**, v. 54, n. 3, p. 219-25, Sep 2012. ISSN 1880-4926. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23047032</u> >.

ONO, E. et al. Evaluation of simulated external root resorptions with digital radiography and digital subtraction radiography. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 139, n. 3, p. 324-33, Mar 2011. ISSN 1097-6752. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21392686</u> >.

PARKER, R. J.; HARRIS, E. F. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 114, n. 6, p. 677-83, Dec 1998. ISSN 0889-5406. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9844208</u> >.

PONDER, S. N. et al. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography: A volumetric and linear analysis. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 143, n. 1, p. 77-91, Jan 2013. ISSN 1097-6752. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23273363</u> >.

PINSKY, H. M. et al. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. **Dentomaxillofac Radiol,** v. 35, n. 6, p. 410-6, Nov 2006. ISSN 0250-832X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17082331</u> >.

RAMANATHAN, C.; HOFMAN, Z. Root resorption during orthodontic tooth movements. **Eur J Orthod**, v. 31, n. 6, p. 578-83, Dec 2009. ISSN 1460-2210. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19525442</u> >.

REUKERS, E. et al. Assessment of apical root resorption using digital reconstruction. **Dentomaxillofac Radiol,** v. 27, n. 1, p. 25-9, Jan 1998. ISSN 0250-832X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9482019</u> >.

RODRIGUES, A. F. et al. Use of gray values in CBCT and MSCT images for determination of density: influence of variation of FOV size. **Implant Dent,** v. 24, n. 2, p. 155-9, Apr 2015. ISSN 1538-2982. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25706259</u> >.

SAMESHIMA, G. T.; ASGARIFAR, K. O. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. **Angle Orthod,** v. 71, n. 3, p. 185-9, Jun 2001. ISSN 0003-3219. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11407770</u> >.

SAMESHIMA, G. T.; SINCLAIR, P. M. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 119, n. 5, p. 505-10, May 2001. ISSN 0889-5406. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11343022</u> >.

SCARFE, W. C. et al. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. **Aust Dent J,** v. 57 Suppl 1, p. 46-60, Mar 2012. ISSN 1834-7819. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22376097</u> >.

SEDENTEX CT (2009). Provisional guidelines on Radiation protection: CBCT for dental and maxillofacial radiology. Available from: http://www. sedentexct.eu/system/files/sedentexct_project_provisional_guidelines.pdf.

SILVA, I. M. et al. Bone density: comparative evaluation of Hounsfield units in multislice and cone-beam computed tomography. **Braz Oral Res,** v. 26, n. 6, p. 550-6, 2012 Nov-Dec 2012. ISSN 1807-3107. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23184166</u> >.

STRATEMANN, S. A. et al. Comparison of cone beam computed tomography imaging with physical measures. **Dentomaxillofac Radiol,** v. 37, n. 2, p. 80-93, Feb 2008. ISSN 0250-832X. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18239035</u> >.

VISCONTI, M. A. et al. Influence of maxillomandibular positioning in cone beam computed tomography for implant planning. **Int J Oral Maxillofac Surg,** v. 42, n. 7, p. 880-6, Jul 2013. ISSN 1399-0020. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23566433</u> >.

WANG, Y. et al. Accuracy of volumetric measurement of teeth in vivo based on cone beam computer tomography. **Orthod Craniofac Res,** v. 14, n. 4, p. 206-12, Nov 2011. ISSN 1601-6343. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22008300</u> >.

WEISSHEIMER, A. et al. Imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the upper airway. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 142, n. 6, p. 801-13, Dec 2012. ISSN 1097-6752. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23195366</u> >.

WELTMAN, B. et al. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop,** v. 137, n. 4, p. 462-76; discussion 12A, Apr 2010. ISSN 1097-6752. Disponível em: < <u>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20362905</u> >.

YUSHKEVICH, P. A. et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. **Neuroimage,** v. 31, n. 3, p. 1116-28, Jul 2006. ISSN 1053-8119. Disponível em: < http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16545965 >.

7 ANEXOS

7.1 PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA





PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento do passo-a-passo para avaliação tridimensional da perda de estrutura nas raizes dos dentes: estudo em laboratório Pesquisador: Carolina Ribeiro Starling Área Temática: Versão: 1 CAAE: 51221815.9.0000.5257 Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Patrocinador Principal: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.351.052

Apresentação do Projeto:

Protocolo 313-15, do grupo III, recebido em 19.11.2015

INTRODUÇÃO

A reabsorção radicular dos dentes pode ser avaliada por vários métodos, como microscópio de luz; microscópio eletrônico de varredura (MEV); radiografias convencionais; e mais recentemente, por tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). Os três primeiros métodos apresentam desvantagens que superam as vantagens, de modo que os estudos atuais da reabsorção radicular são realizados utilizando TCFC (AMANO et al., 2006). A primeira técnica, que utiliza o microscópio de luz, é relatada como destrutiva já que há possibilidade de perda de material durante a preparação das lâminas. Nesse caso, é questionável a reabsorção avaliada, já que áreas pequenas de reabsorção podem ser total ou parcialmente perdidas (AMANO et al., 2006). Na avaliação por MEV, alguns dentes, como os pré-molares, que apresentam anatomia curva, dificultam a obtenção da visão da superfície plana. Assim, o tamanho real da reabsorção pode não ser medido com acurácia (CHAN e DERENDELIER, 2004).

Antigamente, a avaliação da reabsorção radicular, na maioria dos estudos humanos, era conduzida utilizando radiografias periapicais ou panorâmicas, porém, elas não apresentam acurácia

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco N°255 Sala 01D-46				
Bairro:	Cidade Universitária	CEP:	21.941-913	
UF: RJ	Município:	RIO DE JANEIRO		
Telefon	e: (21)3938-2480	Fax: (21)3938-2481	E-mail:	cep@hucff.ufrj.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO ((HUCFF/ UFRJ))



Continuação do Parecer: 1.351.052

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória: Vide item "Conclusões ou Pendências e Listas de Inadequações".

Recomendações:

Vide item "Conclusões ou Pendências e Listas de Inadequações".

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não foram encontrados óbices éticos referentes ao presente projeto.

Considerações Finais a critério do CEP:

 De acordo com o item X.1.3.b, da Resolução CNS n.º 466/12, o pesquisador deverá apresentar relatórios semestrais que permitam ao Cep acompanhar o desenvolvimento dos projetos. Esses relatórios devem conter informações detalhadas nos moldes do relatório final contido no Ofício Circular n. 062/2011: <http://conselho.saude.gov.br/web_comissoes/conep/aquivos/conep/relatorio_final_encerramento.pdf>

 Eventuais emendas (modificações) ao protocolo devem ser apresentadas, com justificativa, ao CEP, de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada.

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_628138.pdf	19/11/2015 09:37:16		Aceito
Outros	Links_do_curriculo_lattes_dos_colabora dores envolvidos no estudo.doc	19/11/2015 09:05:28	Carolina Ribeiro Starling	Aceito
Outros	Apendice.doc	19/11/2015 09:03:13	Carolina Ribeiro Starling	Aceito
Outros	Carta_de_apresentacao_assinada.pdf	19/11/2015 09:02:14	Carolina Ribeiro Starling	Aceito
Outros	Carta_de_apresentacao.doc	19/11/2015 09:01:56	Carolina Ribeiro Starling	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_pesquisa_detalhado.doc	19/11/2015 08:28:16	Carolina Ribeiro Starling	Aceito
Orçamento	Orcamento.doc	19/11/2015 08:25:52	Carolina Ribeiro Starling	Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico /	Declaracao_de_manuseio_material_biol ogico_biorepositorio_assinada.pdf	19/11/2015 08:23:14	Carolina Ribeiro Starling	Aceito

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255 Sala 01D-46						
Bairro:	Cidade Universitária	CEP:	21.941-913			
UF: RJ	Município:	RIO DE JANEIRO				
Telefone:	(21)3938-2480	Fax: (21)3938-2481	E-mail:	cep@hucff.ufrj.br		

Página 06 de 07

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO ((HUCFF/ UFRJ))



Biorepositório /	Declaracao_de_manuseio_material_biol	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Biobanco	ogico biorepositorio assinada.pdf	08:23:14	Starling	
Declaração de	Declaracao_de_manuseio_material_biol	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Manuseio Material	ogico_biorepositorio.doc	08:23:03	Starling	
Biológico /				
Biorepositório /				
Biobanco				
Declaração de	Declaracao_de_responsabilidade_da_in	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Instituição e	stituicao_Odontopediatria_e_Ortodontia	08:22:48	Starling	
Infraestrutura	assinada.pdf			
Declaração de	Declaracao_de_responsabilidade_da_in	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Instituição e	stituicao_Odontopediatria_e_Ortodontia.	08:21:32	Starling	
Infraestrutura	doc			
Declaração de	Declaracao_de_responsabilidade_da_in	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Instituição e	stituicao_assinada_Radiologia.pdf	08:21:19	Starling	
Infraestrutura				
Declaração de	Declaracao_de_responsabilidade_da_in	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Instituição e	stituicao_Radiologia.doc	08:21:08	Starling	
Infraestrutura				
Declaração de	Declaracao_de_responsabilidade_da_in	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Instituição e	stituicao_assinada_Anatomia.pdf	08:20:52	Starling	
Infraestrutura				
Declaração de	Declaracao_de_responsabilidade_da_in	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
Instituição e	stituicao_Anatomia.doc	08:15:23	Starling	
Infraestrutura				
Cronograma	Cronograma.doc	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
		08:11:36	Starling	
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_assinada.pdf	19/11/2015	Carolina Ribeiro	Aceito
1		08-10-35	Starling	

Situação do Parecer: Aprovado Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 12 de Dezembro de 2015

Assinado por: Carlos Alberto Guimarães (Coordenador)

 Endereço:
 Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco N°255 Sala 01D-46

 Bairro:
 Cidade Universitária
 CEP: 21.941-913

 UF:
 RJ
 Município:
 RIO DE JANEIRO

 Telefone:
 (21)3938-2480
 Fax:
 (21)3938-2481
 E-mail:
 cep@hucff.ufrj.br

Página 07 de 07

PlataPorma Brasil