

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
Programa de Pós-graduação em Odontologia

Flávia Souza Pereira de Jesus Almeida

**VALIDAÇÃO DA MENSURAÇÃO DE DADOS VOLUMÉTRICOS DE  
TOMOGRAFIAS COMPUTADORIZADAS DE FEIXE CÔNICO UTILIZANDO  
DIFERENTES SOFTWARES DE MANIPULAÇÃO DE IMAGENS DICOM:  
*estudo in vitro***

Belo Horizonte

2016

Flávia Souza Pereira de Jesus Almeida

**VALIDAÇÃO DA MENSURAÇÃO DE DADOS VOLUMÉTRICOS DE  
TOMOGRAFIAS COMPUTADORIZADAS DE FEIXE CÔNICO UTILIZANDO  
DIFERENTES SOFTWARES DE MANIPULAÇÃO DE IMAGENS DICOM:  
*estudo in vitro***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Área de Concentração: Clínicas Odontológicas – Área Temática: Radiologia e Imaginologia Odontológica.

Linha de Pesquisa: Métodos de diagnóstico por imagem, radiobiologia e radioproteção.

Orientador: Prof. Dr. Elton Gonçalves Zenóbio

Belo Horizonte

2016

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

A447v Almeida, Flávia Souza Pereira de Jesus  
Validação da mensuração de dados volumétricos de tomografias computadorizadas de feixe cônico utilizando diferentes softwares de manipulação de imagens DICOM: estudo *in vitro* / Flávia Souza Pereira de Jesus Almeida. Belo Horizonte, 2016.  
47 f. : il.

Orientador: Elton Gonçalves Zenóbio  
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

1. Tomografia computadorizada de feixe cônico. 2. Precisão da Medição Dimensional. 3. Software - Desenvolvimento. I. Zenóbio, Elton Gonçalves. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. III. Título.

**Flávia Souza Pereira de Jesus Almeida**

**VALIDAÇÃO DA MENSURAÇÃO DE DADOS VOLUMÉTRICOS DE TOMOGRAFIAS COMPUTADORIZADAS DE FEIXE CÔNICO UTILIZANDO DIFERENTES SOFTWARES DE MANIPULAÇÃO DE IMAGENS DICOM: estudo *in vitro***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia. Área de Concentração: Clínicas Odontológicas – Área Temática: Radiologia Odontológica e Imaginologia.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA:**

- 1- Profa. Dra. Tânia Mara Pimenta Amaral – UFMG
- 2- Prof. Dr. Flávio Ricardo Manzi – PUC Minas
- 3- Prof. Dr. Élton Gonçalves Zenóbio – PUC Minas

**DATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA: 21 de dezembro de 2016**

**A dissertação, nesta identificada, foi aprovada pela Banca Examinadora**

Belo Horizonte, 31 de janeiro de 2017

Prof. Dr. Élton Gonçalves Zenóbio  
**Orientador**

Prof. Dr. Martinho Campolina Rebello Horta  
**Coordenador do Programa de Pós-graduação  
em Odontologia**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Paulo e Filomena, por sempre me apoiarem e incentivarem meus estudos.

À minha irmã Paula, que sempre ofereceu o apoio incondicional que apenas irmãs possuem.

Aos meus amigos de mestrado, por me acolherem de uma forma tão carinhosa e pelo convívio prazeroso ao longo de dois anos.

Gostaria de agradecer especialmente ao Alexandre, Aline, Carolina, Stephanie e Gabriel que, dentre tantas diferenças, nos descobrimos semelhantes e agora possuo queridos amigos no melhor estilo mineiro.

Aos professores Fabio Guedes e Maria Augusta Visconti, por disponibilizarem seu tempo e suas instalações para a realização deste trabalho.

Às minhas amigas Thaís, Brunna, Anna Paula, Ana Carolina e Mariana por me oferecerem amizade e indispensável contribuição científica.

Aos meus amigos Fernanda, Gabriel e Marcelle, por sempre estarem ao meu lado ao longo dessa trajetória.

Aos meus orientadores Elton Zenóbio e Flávio Manzi, por todos os ensinamentos e contribuições valiosas ao longo dessa jornada.

À PUC Minas por ter aberto suas portas e ter proporcionado um crescimento pessoal e profissional imensuráveis.

## RESUMO

Dentre as diversas aplicações, imagens obtidas por meio da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico têm sido utilizadas para avaliação de estruturas anatômicas tridimensionais em Odontologia. O objetivo do presente estudo foi avaliar a acurácia das ferramentas para análise volumétrica virtual, oriundas de quatro programas disponíveis no mercado (Dolphin, 3D Slicer, ITK Snap e OsiriX), ao avaliar as aquisições obtidas a partir de diferentes tomógrafos (I-Cat, Kodak 9500C3D e Orthophos XG 3D), realizadas com variados tamanhos de voxel e protocolos, por meio da comparação dos volumes reais. Foram desenvolvidos protótipos em acrílico com recortes geométricos regulares e irregulares internos (corpos de prova), que após a determinação do volume real, por meio de água destilada e pipeta eletrônica, foram preenchidos com um material que promove imagem hiperdensa em tomografia para a aquisição dos volumes tomográficos. Não foram observadas diferenças estatísticas entre as mensurações dos volumes dos corpos de prova (Controle) com as mensurações determinadas pelo software ITK-SNAP e OsiriX, adquiridos por todos os tomógrafos, com todos os protocolos testados. Com a utilização do software Dolphin, foram observadas diferenças significativas entre as mensurações dos volumes dos corpos de prova, apresentando valores superestimados em relação ao grupo controle, quando as imagens foram adquiridas utilizando o tomógrafo de feixe cônico I-CAT utilizando dois dos três protocolos deste estudo (Análise de Friedman -  $p < 0,05$ ). Quando foi utilizado o software 3D Slicer, foi observado diferença estatística superestimada em relação ao grupo controle apenas nas imagens adquiridas pelo tomógrafo I-Cat utilizando um dos protocolos testados ( $p < 0,05$ ). Conclui-se que, embora os softwares possuam precisão na mensuração de estruturas tridimensionais, e que o tamanho do voxel influencia na precisão do contorno da estrutura a ser mensurada, gerando valores superestimados em aparelhos que apresentam voxels de tamanhos maiores.

Palavras-chave: Tomografia computadorizada. Acurácia dimensional. Validação de software.

## ABSTRACT

The aim of this study was evaluate the accuracy of 4 imaging software programs for virtual volumetric measures (Dolphin, 3D Slicer, ITK Snap e OsiriX), using three different CBCT scanners (I-Cat, Kodak 9500C3D e Orthophos XG 3D) with different sizes of voxels and protocols compared to real volume measurements. Acrylic prototypes internally shaped with regular and irregular geometry (test specimen) were developed and filled with distilled water, in order to calculated the real volume, using a precision scale (Marte). To perform CBCT images, the test specimen were filled with a hyperdense material. CBCT images were acquired using three different scanners and different voxels sizes. No statistically significant differences were observed between real volume measurements (Control) and measurements obtained from ITK-SNAP and OsiriX software with tested protocols. However, Dolphin software presented statistically significant differences at two protocols of I-CAT scanner (0.4 mm Voxel size with FOV 400 x 375 x 328 0.3 mm voxel size with FOV 536 x 536 x 440), showing overestimated values compared to control group in both protocols (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ). 3D Slicer presented statistically significant difference, but only at a single protocol of I-Cat scanner (0.4 mm voxel size with FOV 400 x 375 x 328), also showing overestimated values compared to control measurements (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ). We concluded from this results a satisfactory accuracy at volume measurement and voxel size shows significative influency during the measurement of structure contour and the experimental validation method was effective.

Keywords: Computed tomography. Dimensional accuracy. Software validation.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Corpos de prova. Note as 3 formas geométricas (cúbica, esférica e elíptica) e 2 profundidades (raso e profundo) distintas.....23**
- Figura 2: Captura de tela da segmentação realizada no software 3D Slicer.....25**
- Figura 3: Captura de tela da segmentação realizada no software Dolphin.....26**
- Figura 4: Captura de tela da segmentação realizada no software 3D Slicer.....26**
- Figura 5: Captura de tela da segmentação realizada no software OsiriX.....27**



## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1: Medidas dos tamanhos do voxel e FOV de cada aparelho .....</b>	<b>24</b>
---	-----------

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Amostras.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Aquisição das imagens.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Análise das imagens .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.1 ITK-SNAP .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.2 Dolphin.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.3 3D Slicer .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.4 Osirix .....</b>	<b>27</b>
<b>4 ARTIGO .....</b>	<b>29</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) é um exame por imagem que realiza uma aquisição volumétrica primária das estruturas craniofaciais e, a partir desta, promove uma reconstrução multiplanar, permitindo a avaliação tridimensional da anatomia individual de cada paciente (WHITE, 2000; GARIB et al. 2007; JAJU; JAJU, 2014). A TCFC é método de reprodução de imagens seccionais que, em comparação com a tomografia computadorizada multislice (TCMS), utiliza menor miliamperagem, e conseqüentemente menor dose de radiação X ao paciente (WHITE; PHAROAH, 2000; VOS; CASSELMAN; SWENNEN, 2009; JAJU; JAJU, 2014).

O advento dessa tecnologia transformou-se em uma ferramenta diagnóstica acurada que pode ser utilizada nas mais diversas aplicações clínicas (GANZ, 2011), principalmente em casos onde a informação tridimensional é valiosa para a determinação do plano de tratamento, oferecendo informações sobre regiões em que há sobreposições de áreas de interesse, como ocorre na Endodontia; na localização de dentes inclusos e na colocação de implantes (HAITER NETO; KURITA; CAMPOS, 2014; RUELLAS et al., 2014). A partir das imagens obtidas, é possível realizar uma avaliação sobre a morfologia alveolar e para localizar estruturas nobres a fim de preservá-las durante manipulação cirúrgica.

Na região posterior de maxila, o seio maxilar é uma estrutura cujas delimitações espaciais influenciam na manipulação da área. Diversos estudos mostraram que o estudo pré-operatório do volume do seio maxilar é importante ao decidir qual tipo e quantidade de enxerto ósseo deverá ser utilizado. As medidas obtidas também ajudam na escolha da abordagem cirúrgica, do tratamento pré-operatório e estabelecimento de custos para o paciente e para o profissional (UCHIDA et al., 1998; ARIAS-IRIMIA et al., 2012; BATISTA; ROSÁRIO JÚNIOR; WICHNIESKI, 2011; MCGOWAN; BAXTER; JAMES, 2012; KLIJN et al., 2012). A interface entre dentes e seio maxilar implica em considerações importantes na prática odontológica. Park et al. (2010) afirmam que a relação das raízes de dentes posteriores com o seio maxilar pode gerar limitações durante a movimentação ortodôntica. Buric, Jovanovic e Tijanac (2012) afirmaram que apesar da imagem tridimensional obtida por meio da tomografia computadorizada por feixe cônico é extremamente importante para o cirurgião dentista, principalmente no que se refere

nas medidas lineares, ressalta a limitação deste exame, como a não comprovação da fidelidade volumétrica.

Na Implantodontia, a cirurgia de levantamento de seio maxilar é necessária devido à reabsorção óssea que ocorre após a extração dentária e/ou extensão alveolar dos seios maxilares (KAHNBERG; WALLSTRÖM; RASMUSSEN, 2011; KLIJN et al., 2012). A importância do cálculo do volume de enxerto a ser colocado está relacionada não só à seleção do local de doação de osso, no caso do enxerto autógeno, mas também porque estudos demonstraram que os insucessos estão relacionados ao tipo de osso utilizado e que a quantidade de osso utilizada também pode ser insuficiente, por isso a importância de precisar a quantidade necessária de enxerto a ser utilizada, visando minimizar a duração do procedimento cirúrgico e suas possíveis complicações (COSSO, 2014; FAVATO, 2015).

A mensuração linear em tomografias de feixe cônico tem sido bastante discutida na literatura devido à sua importância nas diversas especialidades da Odontologia e diversos estudos (TSUTSUMI et al., 2011; FERNANDES et al., 2015; KOSALAGOOD et al., 2015; PENA DE ANDRADE et al., 2016) envolvendo diferentes aparelhos e tamanho do voxel, ratificaram a acurácia das medidas obtidas, no entanto, estudos envolvendo a acurácia de medidas volumétricas a partir dos exames por imagem são escassos.

Krennmair et al. (2006) utilizaram um método manual, através de fórmulas matemáticas, para mensurar a altura do levantamento de seio maxilar, utilizando duas medidas distintas e concluiu que um planejamento adequado do caso possui fundamental importância na decisão sobre a abordagem cirúrgica e custos do tratamento. No entanto, ressalta que a irregularidade do contorno do seio maxilar dificulta a mensuração manual.

A mensuração de estruturas em exames DICOM podem ser realizadas utilizando métodos manuais, automáticas ou semi-automáticas, sendo o método manual mais trabalhoso e necessita de uma qualificação maior do operador, devido à necessidade de conhecimento específico sobre a anatomia da região de interesse. Os métodos semi-automáticos são os mais utilizados e são viabilizados por meio de softwares dedicados a trabalharem com exames DICOM. Dentre os trabalhos que desenvolveram pesquisas para avaliação tridimensional das estruturas (Kirmeier et al. (2011), Deeb et al. (2011), Hamdy e Abdel-Wahed (2013), nenhum deles

desenvolveu uma metodologia que comparasse o volume real com o volume obtido por meio das ferramentas desses softwares.



## **2 OBJETIVOS**

Avaliar quatro programas disponíveis (ITK-SNAP, Dolphin3D, 3D Slicer software e OsiriX Imaging Software 3.9.4), para mensuração de volume obtidos por três tomógrafos (I-Cat; Kodak 9000C e Orthophos XG 3D), com diferentes protocolos.



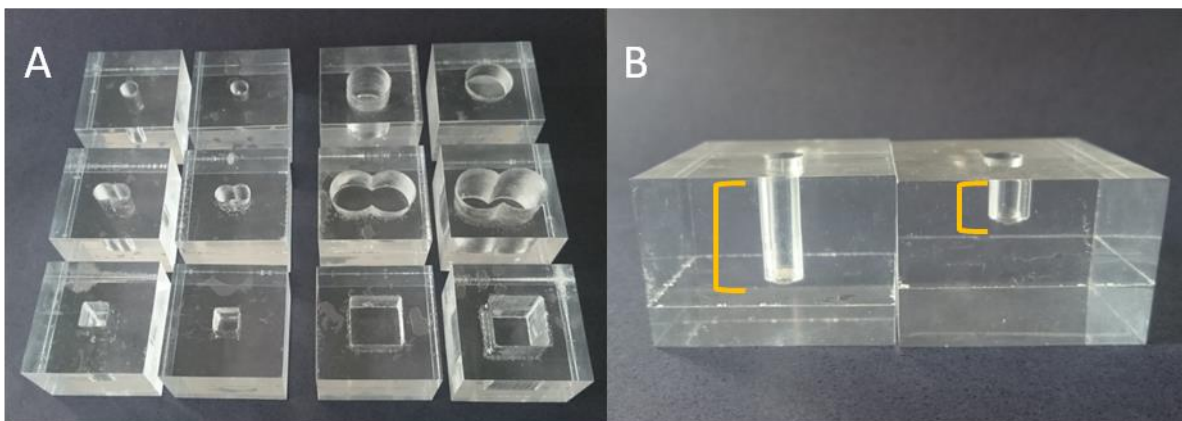


### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Amostras

Foram confeccionados 12 protótipos cúbicos em acrílico, possuindo 10 cm<sup>3</sup>, recortados internamente com três formas geométricas regulares e irregulares distintas (corpos de prova): cúbica, esférica e elíptica, com duas profundidades distintas (raso e profundo) (Fig. 1). Para comprovação dos volumes reais da região interna, cada corpo de prova foi preenchido com água destilada cuja densidade é de 1g/cm<sup>3</sup> a 25°C, utilizando uma balança com precisão de 0,01g (BALANÇA DE PRECISÃO MARTE AD1000 1010G). Estes volumes foram convertidos diretamente para milímetros cúbicos a fim de igualar a unidade de medida utilizada pelos softwares usados no presente estudo. Após a determinação dos volumes reais, estes corpos de prova foram preenchidos com Cimento de Zinco Pó SS White (SS White Burs Inc.) para proporcionar imagens tomográficas hiperdensas, uma vez que este material possui coeficiente de densidade elevado.

**Figura 1:** Corpos de prova. Note as 3 formas geométricas (cúbica, esférica e elíptica) e 2 profundidades (raso e profundo) distintas



Fonte: Elaborado pela autora

#### 3.2 Aquisição das imagens

As imagens tomográficas individuais foram adquiridas em 3 tipos de tomógrafos disponíveis no mercado, I-Cat (I-Cat Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA); Kodak 9500C (Eastman Kodak, Rochester, NY, EUA) e Orthophos XG 3D

(Sirona, Bensheim, Germany), utilizando diferentes tamanhos de voxel, conforme especificado na tabela abaixo.

**Tabela 1: Medidas dos tamanhos do voxel e FOV de cada aparelho**

APARELHO	TAMANHO DO VOXEL	TAMANHO DO FOV
Orthophos XG 3D	0,16 X 0,16 X 0,16mm	512 X 512 X 512mm
I-Cat	0,4 X 0,4 X 0,4mm 0,3 X 0,3 X 0,3mm 0,25 X 0,25 X 0,25mm	400 X 375 X 328mm 536 X 536 X 440mm 640 X 640 X 528mm
KODAK 9500C	0,2 X 0,2 X 0,2mm 0,3 X 0,3 X 0,3mm	755 X 755 X 449mm 665 X 665 X 604mm

Fonte: Elaborado pela autora

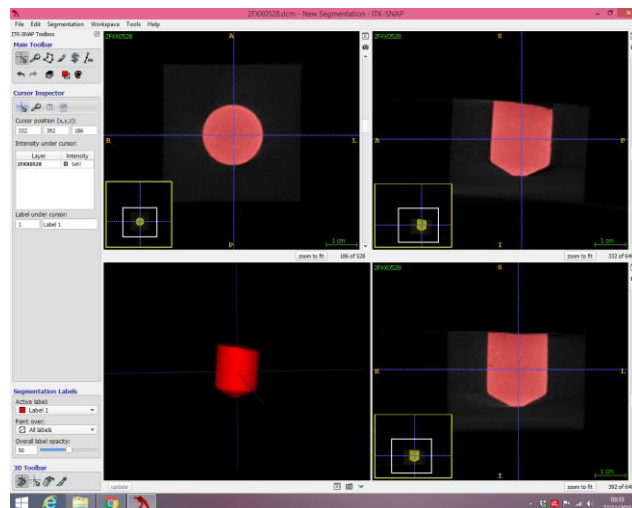
### 3.3 Análise das imagens

As imagens obtidas foram trabalhadas em quatro programas distintos com ferramentas para análise de volume virtual ITK-SNAP (open source, version 3.6.0-RC1; <http://www.itksnap.org>), e Dolphin3D (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, Calif, EUA), 3D Slicer software (open-source, version 4.3.1; <http://www.slicer.org>) e OsiriX Imaging Software 3.9.4 (The OsiriX Foundation, Geneva, Switzerland) por 1 especialista em Radiologia Odontológica e Imaginologia e 1 especialista em Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-facial com experiência na utilização desses recursos e que foram treinados e calibrados. As imagens obtidas em formato DICOM foram diretamente interpretadas em cada software, sendo permitido o uso de todos os recursos disponíveis. Foi utilizado computador com placa gráfica GeForce 9500 GT® (Nvidia Corporation) e monitor LED LG Flatron E2241® (LG Electronics), com resolução de 1920x1080 pixels e os níveis de brilho e contraste do monitor fixados em sua configuração pré-estabelecida. As medidas de volume obtidas foram transferidas para uma tabela e então realizou-se uma análise comparativa do volume real com o volume obtido.

### 3.3.1 ITK-SNAP

Para a utilização do *software* ITK-SNAP, que oferece uma ferramenta de segmentação automática utilizando renderização volumétrica, foi realizada a segmentação da área de interesse e ajuste do contraste para poder realizar ajuste da faixa de *threshold*, pois a região a ser mensurada foi preenchida com material hiperdenso, que foi fixada entre +746 e +3440 em todas as aquisições, para excluir as regiões com pixels que apresentem menor intensidade, selecionando apenas as regiões que apresentam *threshold* elevado para adequada renderização. Após realização da segmentação, o programa calcula automaticamente o volume da região (Fig. 2).

**Figura 2: Captura de tela da segmentação realizada no software 3D Slicer**

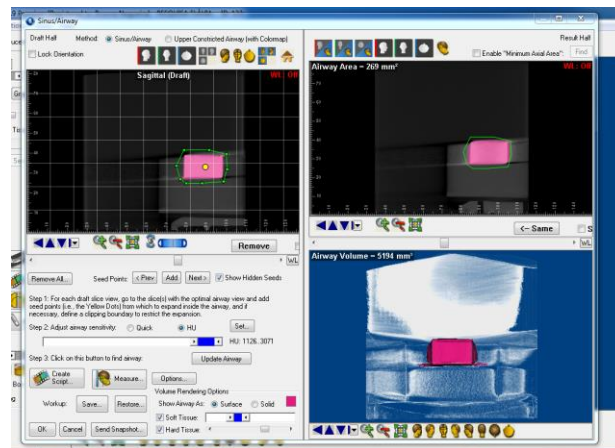


Fonte: Elaborado pela autora

### 3.3.2 Dolphin

Este programa oferece uma opção de segmentação semi-automática, uma vez que o operador seleciona a área de interesse, seleciona a opção de renderização pela identificação de equivalência de voxels e ajusta a faixa de para identificação da região a ser calculada. Por se tratar do cálculo volumétrico de uma região hiperdensa, o ajuste do *threshold* selecionado foi de valores positivos, entre +344 e +1400, variando entre as aquisições dos diferentes tomógrafos, visando selecionar toda a área hiperdensa (Fig. 3).

**Figura 3: Captura de tela da segmentação realizada no software Dolphin**

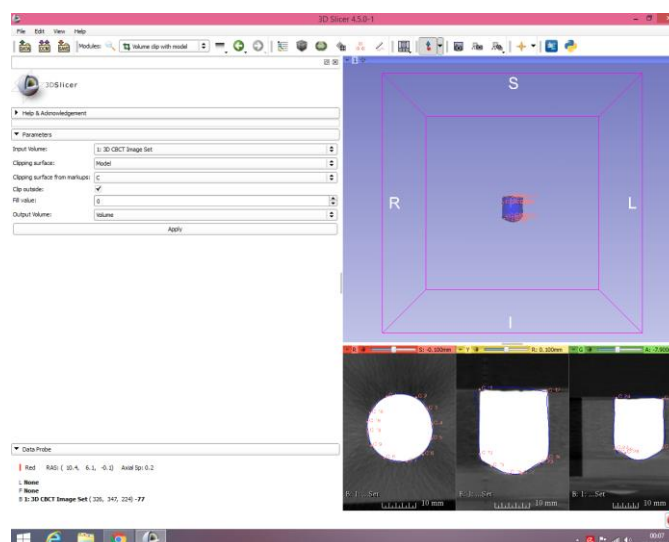


Fonte: Elaborado pela autora

### 3.3.3 3D Slicer

Para seleção do volume a ser calculado, utiliza-se uma ferramenta para a criação de um modelo 3D, baseado em renderização volumétrica. Os valores de identificação (*fill value*) são ajustados em +1000, em todas as aquisições, para selecionar a região hiperdensa e, por meio de pontos fiduciais nos cortes axiais, coronais e sagitais, há a formação do modelo 3D e posterior obtenção dos valores (Fig. 4).

**Figura 4: Captura de tela da segmentação realizada no software 3D Slicer**

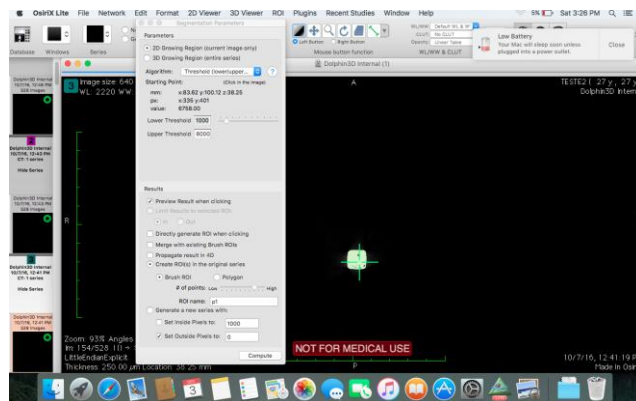


Fonte: Elaborado pela autora

### 3.3.4 Osirix

Este software trabalha com a identificação da região de interesse (ROI – *Region of Interest*), baseado na identificação dos limites da estrutura a ser mensurada por meio da equivalência dos voxels, para posterior renderização volumétrica. Para a obtenção da ROI, ajustou-se os valores de threshold entre +1000 e +8000, segmentando a região e fornecendo o volume da estrutura (Fig. 5).

**Figura 5: Captura de tela da segmentação realizada no software OsiriX**



Fonte: Elaborado pela autora



#### 4 ARTIGO

**Validação da mensuração volumétrica de tomografias computadorizadas de feixe cônico utilizando diferentes softwares para leitura de imagens Dicom.**

Artigo será submetido à **Dentomaxillofacial Radiology** (Qualis A1), cujas normas para submissão de artigos podem ser visualizadas no endereço eletrônico: <http://www.birpublications.org/page/ifa/bjr>.

**Validation study of volumetric measurements from Cone Beam Computed Tomography images using multiples Dicom softwares.**

F S P J Almeida<sup>1</sup>, E G Zenóbio<sup>2</sup> e F R Manzi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Dentistry, Radiology Master Program, PUCMINAS, Belo Horizonte, Brazil; <sup>2</sup>Department of Dentistry, Implant Master Program, PUCMINAS, Belo Horizonte, Brazil

\*Corresponding author: Dr. Flavio Ricardo Manzi

Department of Dentistry Radiology Master Program

Av. Dom José Gaspar – 500, 46 Hall

CEP – 30535.610, Belo Horizonte, Brazil.

Tel.: +55 31 33194414

Fax: +553133194410

e-mail: manzi@pucminas.br



## ABSTRACT

**Purpose:** The aim of this study was evaluate the accuracy of 4 imaging software programs for virtual volumetric measures (Dolphin, 3D Slicer, ITK Snap e OsiriX), using three different CBCT scanners (I-Cat, Kodak 9500C3D e Orthophos XG 3D) with different sizes of voxels and protocols compared to real volume measurements.

**Materials and methods:** Acrylic prototypes internally shaped with regular and irregular geometry (test specimen) were developed and filled with distilled water, in order to calculated the real volume, using a precision scale (Marte). To perform CBCT images, the test specimen were filled with a hyperdense material. CBCT images were acquired using three different scanners and different voxels sizes.

**Results:** No statistically significant differences were observed between real volume measurements (Control) and measurements obtained from ITK-SNAP and OsiriX software with tested protocols. However, Dolphin software presented statistically significant differences at two protocols of I-CAT scanner (0.4 mm Voxel size with FOV 400 x 375 x 328 0.3 mm voxel size with FOV 536 x 536 x 440), showing overestimated values compared to control group in both protocols (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ). 3D Slicer presented statistically significant difference, but only at a single protocol of I-Cat scanner (0.4 mm voxel size with FOV 400 x 375 x 328), also showing overestimated values compared to control measurements (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ).

**Conclusion:** We concluded from this results a satisfactory accuracy at volume measurement and voxel size shows significative influency during the measurement of structure contour and the experimental validation method was effective.

**Keywords:** Computed tomography. Dimensional accuracy. Software validation.

## Introduction

Cone Beam Computed image results from primary volumetric acquisition of craniofacial structures and provides multiplanar reconstruction, allowing tridimensional evaluation of individual anatomy of each patient. Compared to multislice computed tomography (MSCT), uses lower milliamperage, resulting in lower absorbed radiation dose.<sup>1-4</sup>

The development of this imaging exam modality became into a powerful diagnosis tool with several clinical applications, mostly in situations which require three-dimensional information in order to determinate the best treatment, proffering special data as superimposition of structures.<sup>6,7</sup> CBCT images allow investigation about alveolar bone and localization of important anatomical structures in order to preserve them during surgical procedures. Three-dimensional acquisition provides by CBCT is deeply important to the surgeon, however, this resource presents limitations as lack of volumetric accuracy.<sup>8</sup>

Linear measurements have been under discussion in the literature due to its contribution in dentistry practice. Many studies using different equipments and voxel sizes confirmed measurement accuracy, however, there are few studies which ratify volumetric measurement accuracy.<sup>9</sup>

Currently, various softwares works with DICOM standard offering linear, angular and volumetric measurement of region of interest. Those softwares perform region of interest's segmentation allowing landmarks' identification in medical images. Image segmentation have three general methods, termed manual, semi-automatic and automatic. Manual segmentation consists in a process whereby landmarks are manually located in the imaging file, creating patterns in order to enable software recognition; however, requires a highly specialized professional and time. Moreover, presents many protocols of segmentation for same regions<sup>9-11</sup> and some anatomical structures have irregular shapes as maxillary sinus thereby causing difficult to calculate the total volume. Semi-automated method uses automatic algorithms associated to pre- and post-manual processing.<sup>12</sup> Automatic method uses techniques deformable geometric model based and probabilistic and topological anatomical atlas which allows to use of the anatomical information inherently contained throughout the meshes during segmentation process.<sup>13</sup>

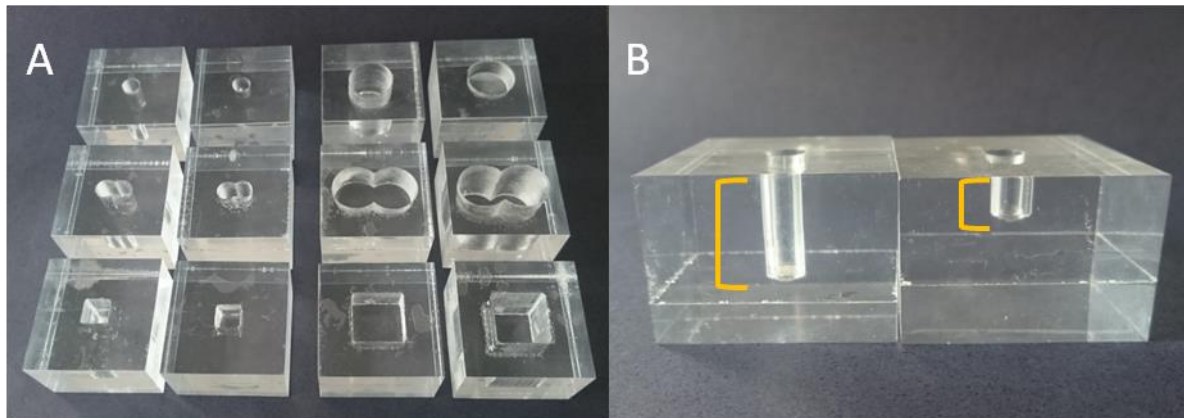
Previous studies have attempted volumetric analysis using DICOM format file obtained from others imaging devices and different softwares<sup>14-16</sup>, however, no study have performed an evaluation method to compare the values provided by specific softwares to real measurements and its correlation to voxel sizes. This article represents a validation study to

virtual volumetric analysis technique using three types of CBCT scanners performing acquisitions of different volumes analysed by four different softwares.

## Material and methods

### *Samples*

Twelve acrylic prototypes with total volume of 10 cm<sup>3</sup> internally shaped with regular and irregular geometry (test specimen): cubic, spherical and elliptical divided in two distinct heights (Fig.1). Additionally, the acrylic prototype's volume was confirmed by using the water weight equivalent. The acrylic prototypes were filled with distilled water (density = 1g/cm<sup>3</sup>), at 20°C, and the water weight was determined by using precision scale (model AD1000 1010G; Marte, São Paulo, São Paulo, Brazil). Those measures were directly converted to millimeters cubed in order to establish the same measurement units as those used by the softwares in the present study. After collecting data from real volumes, those test specimens were filled with zinc cement (Zinc Cement SS White Burs Inc.) which provides hyperdense CT images since this material presents high-density coefficient.



**Figure 1** Test specimen. Note three geometric shapes (cubic, spherical and elliptical) and two distinct heights.

### *Images acquisitions*

CBCT images were acquired from three types of scanners: I-Cat Next Generation (I-Cat Imaging Sciences, Hatfield, PA, USA); Kodak 9500C (Eastman Kodak, Rochester, NY, EUA) and Orthophos XG 3D (Sirona, Bensheim, Germany), using different voxel sizes and field of view (FOV) as specified at Table 1.

**Table 1:** Scanners voxel sizes and FOV.

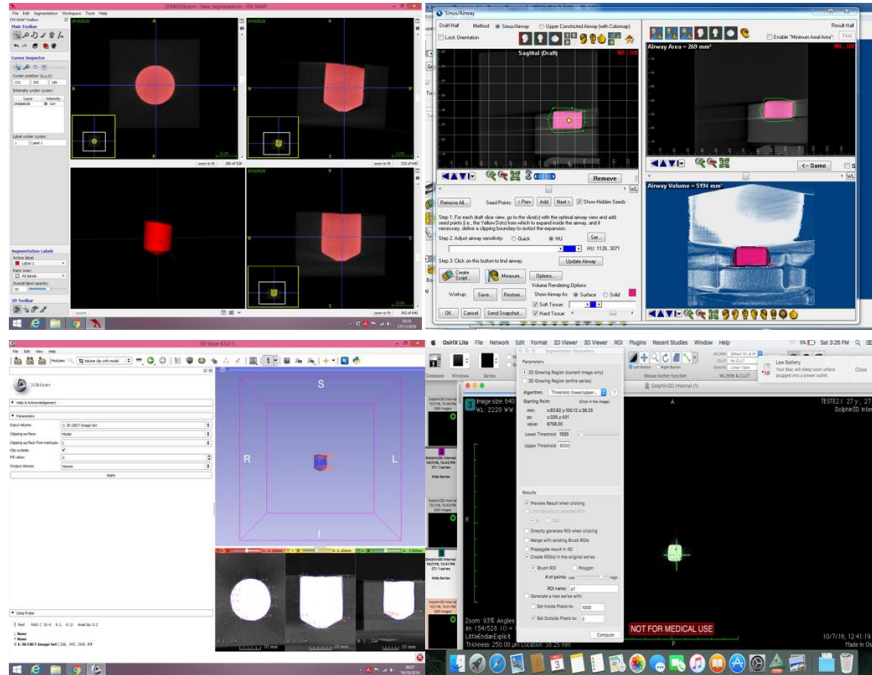
SCANNER	VOXEL	FOV
Orthophos XG 3D	0,16 X 0,16 X 0,16mm	512 X 512 X 512mm
I-Cat Next Generation	1- 0,4 X 0,4 X 0,4mm 2- 0,3 X 0,3 X 0,3mm 3- 0,25 X 0,25 X 0,25mm	400 X 375 X 328mm 536 X 536 X 440mm 640 X 640 X 528mm
KODAK 9500C	1- 0,2 X 0,2 X 0,2mm 2- 0,3 X 0,3 X 0,3mm	755 X 755 X 449mm 665 X 665 X 604mm

### **Images analysis**

Four imaging software programs (Figure 2) with volumetric analysis tools were used to segment and compute volumes from the CBCT images: ITK-SNAP (open source, version 3.6.0-RC1; <http://www.itksnap.org>), e Dolphin 3D (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, Calif, EUA), 3D Slicer *software* (open-source, version 4.3.1; <http://www.slicer.org>) e OsiriX Imaging Software 3.9.4 (The OsiriX Foundation, Geneva, Switzerland). Two trained and calibrated examiners, both experienced with this resources. DICOM images were performed according to each software manufacturer's availabilities. The specifications of each software program are shown in Table 2.

**Table 2** Caracterização dos *softwares* utilizados

	ITK-SNAP	DOLPHIN	3D SLICER	OSIRIX
SEGMENTATION METHOD	Semiautomatic	Semiautomatic	Semiautomatic	Semiautomatic
THRESHOLD VALUES	Fixed (+746 e +3440)	Ajustable	Fixed (+1000)	Fixed (+1000 e +8000)
TYPE OF SELECTION	Voxel based	Voxel based	Region-based segmentation and fiducial landmarks	Voxel based



**Figure 2:** Screenshots of softwares ITK- SNAP; Dolphin Imaging; 3D SLICER and OsiriX.

### *Statistical analysis*

Statistical analysis was based on non parametric Friedman test. All measurements were made again 2 weeks later. The intra- and inter-examiner reliability was evaluated by intraclass correlation coefficient. The level of significance of the tests was set at 5%. O teste foi realizado usando o programa GraphPad Prism 5.00 (GraphPad Software). The statistical analysis was performed with programa GraphPad Prism 5 Software (version 5.0 GraphPad Software). Values were imported into an Excel spreadsheet (Microsoft, Redmond, Wash).

### **Results**

Intra- and inter-examiner reliability was performed by intraclass correlation coefficient, showing  $r = 0.92$  and  $r = 0,86$  ( $p < 0,0001$ ), respectively. The results exhibited excellent correlation between measurements.

No statistically significant differences were observed between real volume measurements (Control) and measurements obtained from ITK-SNAP and OsiriX software with tested protocols. However, Dolphin software presented statistically significant differences at two protocols of I-CAT scanner (0.4 mm Voxel size with FOV 400 x 375 x 328 0.3 mm voxel size with FOV 536 x 536 x 440), showing overestimated values compared to control group in both protocols (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ). 3D Slicer presented statistically

significant difference, but only at a single protocol of I-Cat scanner (0.4 mm voxel size with FOV 400 x 375 x 328), also showing overestimated values compared to control measurements (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ). Data are summarized in Table 3.

**Tabela 3:** Median, minimum and maximum values, mean and e standard deviation (SD) of test specimen's volumes performed by softwares.

<b>ITK</b>	<b>Controll</b>	<b>Sirona</b>	<b>Kodak 1</b>	<b>Kodak 2</b>	<b>ICAT 1</b>	<b>ICAT 2</b>	<b>ICAT 3</b>
<b>Median</b>	2965	2924,5	2907,5	2874,5	2848	2868	2936,5
<b>Minimum</b>	630	610	660	648	660	646	608
<b>Maximum</b>	15585	15970	14970	16210	15420	15400	14890
<b>Mean</b>	4649,2	4701,4	4659,1	4744,2	4602,7	4606,6	4482,2
<b>SD</b>	438,8	448,4	431,2	454,4	433,1	433,2	420,7
<b>DOPLHIN</b>	<b>Controll</b>	<b>Sirona</b>	<b>Kodak 1</b>	<b>Kodak 2</b>	<b>ICAT 1</b>	<b>ICAT 2</b>	<b>ICAT 3</b>
<b>Median</b>	2965	2997	3144	3079,5	<u>3345,5*</u>	<u>3170,5*</u>	4148,5
<b>Minimum</b>	630	676	839	705	843	899	890
<b>Maximum</b>	15585	17741	15209	15995	17210	16916	15495
<b>Mean</b>	4649,2	4923,9	4896,9	4965,1	5087,2	5107,6	4909,4
<b>SD</b>	438,8	488,3	433,2	444,4	470,5	472,8	450,5
<b>3DSLICER</b>	<b>Controll</b>	<b>Sirona</b>	<b>Kodak 1</b>	<b>Kodak 2</b>	<b>ICAT 1</b>	<b>ICAT 2</b>	<b>ICAT 3</b>
<b>Median</b>	2965	3047,5	2950,5	2762	<u>4377,5*</u>	2975	2982
<b>Minimum</b>	630	648	680	660	675	668	657
<b>Maximum</b>	15585	15890	14132	15486	16872	16168	15944
<b>Mean</b>	4649,2	4862	4572,8	4554,4	5854,5	4994,9	4850,9
<b>SD</b>	438,8	451,9	409,8	439,5	488,2	472,5	457,9
<b>OSIRIX</b>	<b>Controll</b>	<b>Sirona</b>	<b>Kodak 1</b>	<b>Kodak 2</b>	<b>ICAT 1</b>	<b>ICAT 2</b>	<b>ICAT 3</b>
<b>Median</b>	2965	2890,2	2903,2	2913,5	2958,7	2959,8	2803,95
<b>Minimum</b>	630	639,9	658,5	653,8	688,2	679,2	626,8
<b>Maximum</b>	15585	14919,3	15809,5	15772,1	15597,4	16792,6	15928,7
<b>Mean</b>	4649,2	4786,8	4800,6	4775,3	4802,2	4909,1	4703,8
<b>SD</b>	438,8	437,7	454,6	452,1	475,7	475,5	456,1

Median values underlined and sinalized with asterisk \* differs from real volumes (control) according to Friedman's test ( $p < 0,05$ ).

## Discussion

Effectiveness of measurements presents extremely useful for sinus lift procedure<sup>17</sup>, airway analysis<sup>18</sup>, surgical pathology and several studies have been performed aiming volumetric measurement reliability of craniofacial complex.<sup>10,11</sup>

Several softwares may be used to manipulate imaging exams in order to assess an improved diagnosis. Literature shows many studies with multiples structures of human body<sup>14-16</sup>, however, no one presents a solid method of measurement accuracy. Fewer studies refers to CBCT modality since is a device with restricted applications to craniofacial region. The present study aimed, through an experimental method, validate volumetric measures provided by medical imaging softwares and assess the influence of image's voxel size in the calculation of volume. Until the present moment, there are no studies oriented to validation of softwares comparing obtained values to real measures.

An hyperdense material was elected because imaging contrast properties, making easier the contrast regulation whereas acrylic prototypes have well-shaped geometric forms, allowing to assign differences between voxel densities in contiguous regions. If a material with closer density to test specimen had been chosen, the differentiation among voxel densities it would have been harder to highlight.

Four imaging software programs were used to segment and compute volumes from the CBCT images, ITK-SNAP, Dolphin, 3D Slicer and OsiriX and all of them make use of semiautomatic segmentation as virtual volumetric analysis.

The present study has found no statistically significant differences were observed between real volume measurements (Control) and measurements obtained from ITK-SNAP and OsiriX software with tested protocol. Both softwares works with fixed thresholding, which minimizes human error risks and perform similar volume results.<sup>18</sup> Dolphin software presented statistically significant differences at two protocols of I-CAT scanner (0.4 mm Voxel size with FOV 400 x 375 x 328 0.3 mm voxel size with FOV 536 x 536 x 440), showing overestimated values compared to control group in both protocols (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ). The imaging segmentation in this software uses adjustable threshold to perform imaging segmentation and the threshold interval is determined by visual criterias of operator which decides the proper limits of the region of interest.<sup>18</sup> Alves Jr et al tested different threshold values to obtain airway volume and concluded that similar threshold values don't interfere in accuracy of measurements. Statistical difference can be justified due to larger size of voxels (0,4 mm and 0,3 mm) since they are capable to cover contiguous structures with

different densities causing complications during region countouring, which decrease the precision of the limits and causes a larger selection of the area in order to include all voxels with hyperdense values.<sup>20</sup> 3D Slicer presented statistically significant difference, but only at a single protocol of I-Cat scanner (0.4 mm voxel size with FOV 400 x 375 x 328), also showing overestimated values compared to control measurements (Friedman Analysis –  $p < 0,05$ ). The segmentation tool selected at 3D Slicer was region-based segmentation which is a technique for determining the region directly by using fiducial landmarks based on greyscale range and fixed threshold value for the region membership criterion.<sup>19</sup> The fiducial landmarks are manually selected by the operator which gives more control to include some hyperdense areas, but also may cause interferences on segmentation boundaries in cases whereas the voxel size is larger and a group distinct shades of grey, causing overestimating volume rates.

Furthermore, although the tests results presented statistically differences in some measures, the softwares showed excellent correlation between real volumes and virtual volumes. ITK-SNAP and OsiriX are both free-source software and are easy handling; Dolphin also have an accessible operability, however, its higher costs limits its propagation. 3D Slicer advantage is offering an open-source platform, but requires dedication to its tools and functioning.

## Conclusion

The softwares presented satisfactory precision on three-dimensional measures, establishing as an remarkable resource to medical field, specially Dental Practice. This studies concluded that voxel size is a restriction factor to volume measurements, mostly when applied to regions which presents lower contrast among contiguous structures, causing overestimated values when using a protocol with larger voxel sizes.

## References

1. Garib DB, Raymundo Jr. R, Raymundo MV, Raymundo DV, Ferreira SN. Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone Beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na ortodontia. *Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial* 2007; **12**: 139-156.
2. White SC, Pharoah MJ. *Radiologia Oral: princípios e interpretação* (4<sup>a</sup> ed). St. Louis: Mosby, 2000.



3. Vos W, Casselman J, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009; **38**: 609-625.
4. Jaju PP, Jaju SP. Clinical utility of dental cone-beam computed tomography: current perspectives. *Clin Cosmet Investig Dent* 2014; **6**: 29-43
5. Ganz SD. Cone beam computed tomography–assisted treatment planning concepts. *Dent Clin North Am* 2011; **55**: 515-536.
6. Haiter Neto F, Kurita LM, Campos PSF. *Tomografia computadorizada em odontologia*. Ribeirão Preto: Tota, 2014.
7. Ruellas AC, Koerich L, Baratieri C, Mattos CT, Alves M Jr, Brunetto D, et al. Reliability of CBCT in the diagnosis of dental asymmetry. *Dental Press J Orthod* 2014; **19**: 90-95.
8. Buric N, Jovanovic G, Tijanic M. Usefulness of cone-beam CT for presurgical assessment of keratoma (cholesteatoma) of the maxillary sinus. *Head Neck* 2012; **35**: 221-225.
9. Krennmair G, Krainhöfner M, Maier H, Weinländer M, Piehslinger E. Computerized tomography-assisted calculation of sinus augmentation volume. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2006; **21**: 907-913.
10. Hamdy RM, Abdel-Wahed N. Three-dimensional linear and volumetric analysis of maxillary sinus pneumatization. *J Adv Res* 2014; **5**: 387-395.
11. Deeb R, Malani PN, Gill B, Jafari-Khouzani K, Soltanian-Zadeh H, Patel S, et al. Three-dimensional volumetric measurements and analysis of the maxillary sinus. *Am J Rhinol Allergy* 2011; **25**: 152-156.
12. Salah Z, Bartz D, Dammann F, Schwaderer E, Maassen M, Strasser W. A fast and accurate approach for the segmentation of the paranasal sinus. In: *Proc. of workshop Bildverarbeitung in der Medizin*, 2005, pp 93-97.
13. Villa Pinto, CHV, Ferrari RJ. Initialization of deformable models in 3D magnetic resonance images guided by automatically detected phase congruency point landmarks. *Pattern Recognition Letters* 2016; **79**: 1-7.
14. Alves M Jr, Baratieri C, Mattos CT, Brunetto D, Fontes Rda C, Santos JR, et al. Is the airway volume being correctly analyzed? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; **141**: 657-661.
15. Yamauchi T, Yamazaki M, Okawa A, Furuya T, Hayashi K, Sakuma T, et al. Efficacy and reliability of highly functional open source DICOM software (OsiriX) in spine surgery. *J Clin Neurosci* 2010; **17**: 756-759.

16. Ma Z, Chen X, Huang Y, He L, Liang C, Liang C, et al. MR diffusion-weighted imaging-based subcutaneous tumour volumetry in a xenografted nude mouse model using 3D Slicer: An accurate and repeatable method. *Sci Rep* 2015; **5**: 15653.
17. Garg AK. Augmentation grafting of the maxillary sinus for placement of dental implants: anatomy, physiology, and procedures. *Implant Dent* 1999; **8**: 36-46.
18. 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**: 801-813.
19. Moroni G, Petrò S. Impact of the threshold on the performance verification of computerized tomography scanners. *procedia CIRP*. 14th CIRP CAT 2016 - CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing 2016; **43**: 345-350.
20. Accorsi M, Velasco L. *Diagnóstico 3D em Ortodontia: a tomografia cone beam aplicada*. Nova Odessa: Napoleão, 2011.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de ferramentas virtuais que auxiliam o diagnóstico e o planejamento do tratamento é uma realidade cada vez mais presente no dia-a-dia clínico. Verificou-se que softwares utilizados possuem precisão bastante satisfatória na mensuração de estruturas tridimensionais, mostrando-se como um excelente recurso a ser utilizado na Odontologia pelas mais diversas especialidades.

O método utilizado nesse estudo apresentou-se eficiente e prático para avaliação dos programas, mostrando ser passível de reprodução e pode ser aplicado em quaisquer modalidades de exames por imagem que utilize uma ferramenta que trabalhe com o formato DICOM.

O estudo concluiu, ainda, que o tamanho do voxel é um fator limitante no cálculo do volume da estrutura a ser analisada e influencia na precisão do contorno da estrutura a ser mensurada, principalmente se a região apresentar um baixo contraste entre estruturas contíguas, gerando valores superestimados em aparelhos que apresentam voxels de tamanhos maiores.



## REFERÊNCIAS

- ARIAS-IRIMIA, Ó. et al. Pre-operative measurement of the volume of bone graft in sinus lifts using CompuDent. **Clinical Oral Implants Research**, v.23, n.9, p. 1070-1074, Sept. 2012.
- BATISTA, P.B.; ROSÁRIO JUNIOR, A.F.; WICHNIESKI, C. A contribution to the maxillary sinus study. **Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial**, v.52, n.4, p. 235-239, 2011.
- BURIC, N.; JOVANOVIĆ, G.; TIJANIĆ, M. Usefulness of cone-beam CT for presurgical assessment of keratoma (cholesteatoma) of the maxillary sinus. **Head Neck**, v.35, n.7, p. 221-225, July 2012.
- DEEB, R. et al. Three-dimensional volumetric measurements and analysis of the maxillary sinus. **American Journal of Rhinology & Allergy**, v.25, n.3, p. 152-156, May 2011.
- FERNANDES, T.M.F. et al. Comparison between 3D volumetric rendering and multiplanar slices on the reliability of linear measurements on CBCT images: an in vitro study. **Journal of Applied Oral Science**, v.23, n.1, p. 56-63, 2015.
- GANZ, S.D. Cone beam computed tomography–assisted treatment planning concepts. **Dental Clinics of North America**, v.55, n.3, p. 515-536, July 2011.
- GARG, A.K. Augmentation grafting of the maxillary sinus for placement of dental implants: anatomy, physiology, and procedures. **Implant Dentistry**, v.8, p. 36-46, 1999.
- GARIB, D.B. et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone Beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na ortodontia. **Revista Dental Press Ortodontia e Ortopedia Facial**, v.12, n.8, p. 139-156, Mar. 2007.
- HAITER NETO, F., KURITA, L.M., CAMPOS, P.S.F. **Tomografia computadorizada em odontologia**. Ribeirão Preto: Tota, 2014.
- HAMDY, R.M.; ABDEL-WAHED, N. Three-dimensional linear and volumetric analysis of maxillary sinus pneumatization. **Journal of Advanced Research**, v.5, n.3, p. 387-395, May 2014.
- JAJU, P.P.; JAJU, S.P. Clinical utility of dental cone-beam computed tomography: current perspectives. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry**, v.6, n.9, p. 29-43, Sept. 2014.
- KAHNBERG, K.E.; WALLSTRÖM, M.; RASMUSSEN, L. Local sinus lift for single-tooth implant. I: clinical and radiographic follow-up. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, v.13, n.3, p. 231-237, Sept. 2011.

KIRMEIER, R. et al. Reproducibility of volumetric measurements on maxillary sinuses. **International Journal of Oral Maxillofacial Surgery**, v.40, n.2, p. 195-199, Feb. 2011.

KLIJN, R.J. et al. Predictive value of ridge dimensions on autologous bone graft resorption in staged maxillary sinus augmentation surgery using Cone-Beam CT. **Clinical Oral Implants Research**, v.23, n.4, p. 409-415, Apr. 2012.

KOSALAGOOD, P. et al. Linear measurement accuracy of eight cone beam computed tomography scanners. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, v.17, n.6, p. 1217-1227, 2015.

KRENNMAIR, G. et al. Computerized tomography-assisted calculation of sinus augmentation volume. **International Journal of Oral Maxillofacial Implants**, v.21, n.6, p. 907-913, Nov. 2006.

McGOWAN, D.A.; BAXTER, P.W.; JAMES, J. **The maxillary sinus and its dental implications**. London: Wright Co, 1993.

MISCH, C.E. **Implantes dentários contemporâneos**. 2. ed. São Paulo: Santos, 2000.

PARK, I. et al. Volumetric study in the development of paranasal sinuses by CT imaging in Asian: a pilot study. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v.74, p. 1347-1350, 2010.

PENA DE ANDRADE, J.G. et al. Comparison of 64-detector-multislice and cone beam computed tomographies in the evaluation of linear measurements in the alveolar ridge. **The International Journal of Prosthodontics [online]**, v.29, n.2, p. 132-134, Mar./Abr. 2016.

PINTO, C.H.V.; FERRARI, R.J. Initialization of deformable models in 3D magnetic resonance images guided by automatically detected phase congruency point landmarks. **Pattern Recognition Letters**, v.79, p. 1-7, Aug. 2016.

RUELLAS, A.C.O. et al. Reliability of CBCT in the diagnosis of dental asymmetry. **Dental Press Journal Orthodontics**, v.19, n.2, p. 90-95, Apr. 2014.

TSUTSUMI, K. et al. Accuracy of linear measurement and the measurement limits of thin objects with cone beam computed tomography: effects of measurement directions and of phantom locations in the fields of view. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, v.26, n.1, p. 91-100, 2011.

UCHIDA, Y. et al. Measurement of maxillary sinus volume using computerized tomographic images. **International Journal of Oral Maxillofacial Implants**, v.13, n.6, p. 811-818, Dec. 1998.

VOS, W.; CASSELMAN, J.; SWENNEN, G.R. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the

literature. **International Journal of Oral Maxillofacial Surgery**, v.38, n.6, p. 609-625, June 2009.

WHITE, S.C; PHAROAH, M.J. **Radiologia oral: princípios e interpretação**. 4 ed. St. Louis: Mosby, 2000.