

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA



FERNANDA BULHÕES FAGUNDES

# INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE RECONSTRUÇÃO ZOOM NA EXPRESSÃO DE ARTEFATOS DE DISTORÇÃO VOLUMÉTRICA EM TCFC

# INFLUENCE OF ZOOM RECONSTRUCTION TOOL APPLICATION ON THE EXPRESSION OF VOLUMETRIC ALTERATION ARTEFACTS IN CBCT

Piracicaba

# FERNANDA BULHÕES FAGUNDES

# INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE RECONSTRUÇÃO ZOOM NA EXPRESSÃO DE ARTEFATOS DE DISTORÇÃO VOLUMÉTRICA EM TCFC

# INFLUENCE OF ZOOM RECONSTRUCTION TOOL APPLICATION ON THE EXPRESSION OF VOLUMETRIC ALTERATION ARTEFACTS IN CBCT

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Radiologia Odontológica, na Área de Radiologia Odontológica.

Dissertation presented to the Piracicaba Dental School of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Oral Radiology, in Oral Radiology area.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Sampaio Neves

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO/TESE DEFENDIDA PELO ALUNO FERNANDA BULHÕES FAGUNDES E ORIENTADA PELO(A) PROF DR. FREDERICO SAMPAIO NEVES.

Piracicaba

2022

### Ficha catalográfica Universidade Estadual de Campinas Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba Marilene Girello - CRB 8/6159

F139i	<ul> <li>Fagundes, Fernanda Bulhões, 1997-</li> <li>Influência da aplicação da ferramenta de reconstrução zoom na expressão de artefatos de distorção volumétrica em TCFC / Fernanda Bulhões Fagundes.</li> <li>– Piracicaba, SP : [s.n.], 2022.</li> </ul>
	Orientador: Frederico Sampaio Neves. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.
	1. Tomografia computadorizada de feixe cônico. 2. Materiais dentários. 3. Artefatos. I. Neves, Frederico Sampaio, 1984 II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

#### Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Influence of zoom reconstruction tool application on the expression of volumetric alteration artifacts in CBCT Palavras-chave em inglês: Cone-beam computed tomography **Dental materials** Artifacts Área de concentração: Radiologia Odontológica Titulação: Mestra em Radiologia Odontológica Banca examinadora: Frederico Sampaio Neves [Orientador] lêda Margarida Crusoé Rocha Rebello Amanda Farias Gomes Data de defesa: 28-01-2022 Programa de Pós-Graduação: Radiologia Odontológica

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a) - ORCID do autor: https://orcid.org/0000-0002-9777-4197 - Currículo Lattes do autor: http://lattes.cnpq.br/8504927427112284



# UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS Faculdade de Odontologia de Piracicaba

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Dissertação de Mestrado, em sessão pública realizada em 28 de janeiro de 2022, considerou a candidata FERNANDA BULHÕES FAGUNDES aprovada.

# PROF. DR. FREDERICO SAMPAIO NEVES

# PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. IÊDA MARGARIDA CRUSOÉ ROCHA REBELLO

# PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. AMANDA FARIAS GOMES

A Ata da defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

# DEDICATÓRIA

À **família** que me fortalece, meu propósito e fonte de força e esperança inesgotável. Aos **amigos** que deixam a caminhada mais leve. Aos **mestres**, encorajadores e exemplos.

# AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas, em nome do reitor Prof. Dr. Antônio José de Almeida Meirelles.

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba, em nome do diretor Prof. Dr. Francisco Haiter Neto.

À Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp, em nome da coordenadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Gonzales Silvério Ruiz.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001, bela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Radiologia Odontológica da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp, em nome do atual coordenador Prof. Dr. Matheus Lima de Oliveira.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Frederico Sampaio Neves. Palavras nunca serão o bastante para explicar minha gratidão por trabalhar ao lado de um ser humano tão integro. Obrigada por acreditar em mim, pelas oportunidades, conselhos e conhecimento transmitido. Obrigada por ser meu grande exemplo na profissão.

Aos professores de Radiologia Odontológica da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp, com os quais tive contato: Prof. Dr. Matheus Lima de Oliveira, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Deborah Queiroz de Freitas França, Prof. Dr. Francisco Haiter Neto, Prof. Dr. Christiano de Oliveira Santos, Prof. Dr. Sérgio Lins de Azevedo Vaz. Aprender ao lado de pessoas tão generosas como vocês foi grandioso.

À banca examinadora da qualificação, Prof. Dr. Gustavo M. Santaella, Prof.ª Dr.ª Taruska V. Vasconcelos e Prof. Dr. Matheus L Oliveira pela cuidadosa avaliação e pelas importantes considerações que engrandeceram o trabalho.

À Deivi Cascante, colega de pós-graduação, avaliador das imagens e um verdadeiro amigo. Com certeza, a realização desse trabalho não seria possível sem você.

À Deus, que nos rege, guarda e governa, principalmente nos momentos mais difíceis, me carregou de energia para chegar até aqui, e com certeza, muito mais longe.

À minha família, especialmente meus pais, que com muito respeito e sensibilidade, souberam entender esse período conturbado, sabendo que no final, tudo valeria a pena.

À meus amigos que ficaram na Bahia e aos incontáveis que fiz em Piracicaba. Conviver com vocês foi essencial nessa caminhada. Obrigada por serem família.

Aos funcionários na instituição, que sempre de bom humor, me alimentavam (sem saber) de doses de alegria, fundamentais nos momentos de cansaço.

Aos pacientes que viram verdadeiros amigos, permitindo entrar nas suas vidas, criar laços, entender realidades muitas vezes distantes da minha, me ensinar tanto, e através de nossos atendimentos, instigar minha vontade de pesquisar, inovar e trazer mais e mais qualidade para o atendimento que podemos os oferecer, portanto, esse trabalho também é por vocês.

A odontologia e a pós-graduação me permitiu grandes alegrias, conhecimento e aprendizados, principalmente sobre me tornar a cada dia mais humana, mais sensível, entendendo que nem tudo se resume ao procedimento técnico de excelência, mas a um saber ouvir o outro, na mesma intensidade. Esse trabalho demonstra a conclusão de um ciclo intenso, mas de muita paciência e dedicação, como tudo que me proponho fazer. As dificuldades são muitas, mas no final, a certeza é a felicidade pelo dever cumprido.

#### **RESUMO**

O artefato de alteração volumétrica atua super ou subestimando o volume tomográfico em relação ao volume físico do objeto escaneado, o que pode influenciar negativamente no diagnóstico e planejamento odontológico. A ferramenta de reconstrução zoom atua permitindo a reconstrução do volume tomográfico previamente adquirido, com alteração de tamanho do campo de visão (Field of View - FOV) e/ou voxel, ou seja, possui a capacidade de reconstruir imagens em maior resolução, a partir de imagens de menor resolução. Apesar de promissora, a ferramenta teve a sua atuação pouco estudada na literatura, sendo a similaridade de características do volume reconstruído e um originalmente adquirido ainda pouco conhecida. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da ferramenta de reconstrução zoom na expressão de artefatos de alteração volumétrica gerados a partir de diferentes materiais odontológicos, variando o tamanho do FOV e/ou do voxel na imagem de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC). Para isso, cinco cilindros previamente fabricados de amálgama, cobalto-crômio, guta-percha, titânio e zircônia foram alocados individualmente em 4 orifícios (2 anteriores e 2 posteriores) de um fantoma homogêneo de polimetilmetacrilato para serem submetidos a exames de TCFC. O aparelho Veraview® X800 (MORITA MFG. CORP., Tokio, Japão) foi utilizado para aquisições, de acordo com os seguintes parâmetros: 90 kVp e 5 mA, tempo de exposição de 9,4 segundos e 180º de rotação. Cada cilindro foi escaneado em 3 protocolos: 80x80 mm de FOV com tamanho de voxel de 0,125 mm; 40x40 mm com 0,125 mm e 40x40 mm com 0,08 mm. Após as aquisições, a ferramenta de reconstrução zoom foi aplicada ao primeiro protocolo para reconstrução em 2 protocolos: 40x40 mm de FOV com tamanho de voxel de 0,08 mm e 40x40 mm de FOV com tamanho de voxel de 0,125 mm. Dois radiologistas orais calibrados adotaram o método de segmentação semiautomática para avaliação dos volumes tomográficos dos cilindros, utilizando o software ITK-SNAP versão 3.6. A diferença entre os volumes tomográficos e físicos dos cilindros foi calculada e expressa em porcentagem. O teste ANOVA multi-way foi aplicado para avaliar a influência dos fatores estudados (reconstrução - original x zoom, material, tamanho do FOV e tamanho do voxel), seguido do teste *post-hoc* de Tukey. A ferramenta de reconstrução zoom influenciou na alteração volumétrica, apenas para o material zircônia com tamanho de voxel de 0,125 mm, quando comparado o protocolo original com o protocolo zoom (p=0.009), que atuou superestimando o volume. Para os demais materiais e protocolos, não houve diferença. O tamanho do FOV não influenciou na alteração volumétrica, exceto para a guta-percha, que para o tamanho do FOV maior (80x80) demonstrou diferença estatisticamente significante (p = 0,005), quando comparado ao tamanho menor (40x40). Em relação ao voxel, apenas o cilindro de zircônia apresentou diferença estatística entre os tamanhos de 0,125 e 0,08 mm de voxel (p <0,0001). Em geral, a ferramenta de reconstrução zoom pode ser usada, já que para a maioria dos materiais, não apresenta diferença na alteração volumétrica quando comparada com aquisições originais de mesmos parâmetros, em estudos *in vitro*.

**Palavras-chave:** *Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico, materiais dentários, artefatos.* 

## ABSTRACT

The volumetric alteration artefact acts over or underestimating the tomographic volume in relation to the physical volume of the scanned object, which can negatively influence the diagnosis and dental planning. The zoom reconstruction tool works by allowing the reconstruction of the tomographic volume previously acquired, with a change in the size of the field of view (FOV) and/or voxel, that is, it has the ability to reconstruct images in higher resolution, from of lower resolution images. Although promising, the tool has had its performance little studied in the literature, and the similarity of characteristics of the reconstructed volume and one originally acquired is still little known. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of the zoom reconstruction tool on the expression of volumetric alteration artefacts generated from different dental materials, varying the size of the FOV and/or the voxel in the Cone Beam Computed Tomography (CBCT) image. For this, five cylinders previously manufactured from amalgam, cobalt-chromium, gutta-percha, titanium, and zirconium were individually placed in 4 holes (2 anterior and 2 posteriors) of a homogeneous polymethylmethacrylate phantom to be submitted to CBCT scans. The Veraview® X800 device (MORITA MFG. CORP., Tokyo, Japan) was used to acquire the images, according to the following parameters: 90 kVp and 5 mA, exposure time of 9.4 seconds and 180° of rotation. Each cylinder was scanned in 3 protocols: 80x80 mm FOV with 0.125 mm voxel size; 40x40 mm with 0.125 mm and 40x40 mm with 0.08 mm. After the acquisitions, the zoom reconstruction tool was applied to the first protocol for reconstruction in 2 protocols: 40x40 mm FOV with 0.08 mm voxel size and 40x40 mm FOV with 0.125 mm voxel size. Two calibrated oral radiologists adopted the semiautomatic segmentation method to evaluate the tomographic volumes of the cylinders, using the ITK-SNAP software version 3.6. The difference between the tomographic and physical volumes of the cylinders was calculated and expressed as a percentage. The multi-way ANOVA test was applied to assess the influence of the factors studied (reconstruction - original x zoom, material, FOV size, and voxel size), followed by Tukey's post-hoc test. The zoom reconstruction tool influenced the volumetric alteration, only for the zirconium material with a voxel size of 0.125 mm when comparing the original protocol with the zoom protocol (p=0.009), which acted by overestimating the volume. For the other materials and protocols, there was no difference. The size of the FOV did not influence the volumetric alteration, except for gutta-percha, which for the larger FOV size (80x80) showed a statistically significant difference (p = 0.005), when compared to the smaller

size (40x40). Regarding the voxel, only the zirconium cylinder showed a statistical difference between the 0.125 and 0.08 mm voxel sizes (p < 0.0001). In general, the zoom reconstruction tool can be used, since, for most materials, it does not show any difference in volumetric alteration when compared to original acquisitions of the same parameters, in in vitro studies.

Key-words: Cone-Beam Computed Tomography, dental materials, artefacts

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	<b>ARTIGO:</b> Influence of cone beam CT zoom reconstruction on the expression of volumetric alteration artefacts	16
	2.1. Abstract	17
	2.2. Introduction	18
	2.3. Materials and methods	20
	2.4. Results	24
	2.5. Discussion	27
	2.6. Conclusion	31
	2.7. Acknowledgements	31
	2.8. Conflicts of interest	31
	References	32
3.	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE 1 – Metodologia Detalhada	38
	ANEXOS	45
	Anexo 1 – Currículo Lattes e Orcid	45
	Anexo 2 – Relatório Turnitin	46
	Anexo 3 – Comprovante de submissão do artigo	47

# 1. INTRODUÇÃO

Os exames por imagens tridimensionais cumprem um papel muito importante nas tarefas de diagnóstico e planejamento de procedimentos médicos e odontológicos. Especialmente na odontologia, a Tomografia computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) ganha destaque, devido ao seu relativo baixo custo, acessibilidade e resolução espacial da imagem dos tecidos duros superior às Tomografias Computadorizadas (TC) (Scarfe and Farman, 2008; Farman and Scarfe, 2009; Gaêta-Araujo et al., 2020). Apesar disso, deve sempre ser considerado o custo-benefício da realização da técnica, visto que apesar de inferior dose de radiação ao paciente comparado à TC, a dose ainda é significativa e deve ser considerada, de modo que o benefício do exame supere os riscos da exposição à radiação, seguindo, portanto, o princípio do ALADA (Jaju and Jaju, 2015). Diversos parâmetros técnicos, como kilovoltagem pico (kVp), miliamperagem (mA), campo de visão (*Field of View* -FOV) e, secundariamente o voxel, podem ser alterados afim de contribuir na redução da dose de radiação e permitir que o exame seja otimizado para a tarefas de diagnóstico específicas (Pauwels, 2015).

O FOV, corresponde a área de abrangência do exame, ou seja, a área a ser irradiada e consequentemente, exibida no exame por imagem. Já o voxel, está intimamente ligado à resolução espacial da imagem, ao passo que quanto menor sua dimensão, melhor a qualidade da imagem final (Scarfe and Farman, 2008). Apesar de não ser consenso na literatura, estudos demonstraram que tamanhos de voxel menores contribuem para um diagnóstico mais preciso na detecção do canal MV2 (Mouzinho-Machado et al., 2021) e nos casos de fraturas radiculares (De Martin e Silva et al., 2018). De forma geral, quanto maior o FOV do exame, maior o voxel, entretanto, alguns aparelhos e fabricantes permitem a flexibilização até um certo ponto desses parâmetros (Scarfe and Farman, 2008; Wanderley et al., 2021).

Outro aspecto bastante importante relacionado à TCFC é a formação de artefatos de imagem, ou seja, incongruências na imagem reconstruída em relação ao objeto escaneado (Schulze et al., 2011). O conhecimento acerca dos artefatos é essencial, já que eles podem interferir consideravelmente de forma negativa no diagnóstico (Machado et al., 2018). Os artefatos podem ser de diversos tipos a depender da natureza de sua formação, como inerentes ao equipamento, relacionados à movimentação do paciente ou ao processo de aquisição da imagem devido a interação dos fótons de raios X com estruturas no interior ou fora do FOV (Schulze et al., 2011). Alguns dos artefatos mais discutidos são os artefatos gerados a partir

de objetos de alta densidade e/ou número atômico, capazes de gerar estrias hipodensas e hiperdensas na imagem através do fenômeno de endurecimento do feixe de raios X (beam-hardening), e o artefato de distorção volumétrica de estruturas (Hoffmann U, Ferencik M, Cury RC, 2006; Schulze et al., 2011).

Conhecido como *blooming*, devido a sua primeira identificação através de placas de calcificação nos vasos sanguíneos superestimadadas em imagens de TC (Hoffmann U, Ferencik M, Cury RC, 2006), a distorção de estruturas, ou seja, alteração do volume do objeto escaneado na imagem vem sendo estudado. Assim como para outros artefatos de imagem, a alteração volumétrica se mostrou sensível e variável a depender da seleção de diversos parâmetros técnicos ajustáveis, como o formato do FOV (cilíndrico ou triangular) (Cascante-Sequeira et al., 2021), kVp, mA (Codari et al., 2017) e modelo de aparelho utilizado para a aquisição (Wanderley et al., 2021). Além disso, a literatura sugere que aspectos como tamanho de voxel e o tamanho do FOV (Celikten et al., 2017) também possam afetar a formação dos artefatos de alteração volumétrica. Fatores relacionados ao objeto, como o material a ser escaneado também provou-se ser fator que influencia na expressão desse fenômeno, isso devido a características intrínsecas do material, como densidade física e número atômico (Coelho-Silva et al., 2020). Diferente do observado no passado, a alteração volumétrica pode atuar super ou subestimando o volume da estrutura afetada a depender principalmente do material escaneado (Coelho-Silva et al., 2020; Cascante-Sequeira et al., 2021).

A ferramenta de reconstrução Zoom, disponível nos aparelhos 3D Accuitomo<sup>®</sup> (MORITA MFG. Corp. Kyoto Japão) e Veraview® X800 (MORITA MFG. Corp. Kyoto Japão), atua permitindo a reconstrução do volume previamente adquirido, com alteração de tamanho de FOV e/ou voxel. Diversas combinações desses parâmetros estão disponíveis no software i-Dixel, visualizador oficial da marca. O fabricante destaca a capacidade da ferramenta em reconstruir imagens de menor resolução (maior voxel), em maior resolução (menor voxel), permitindo assim a melhor visualização de detalhes na imagem e em consequência, possivelmente aumentar a capacidade de diagnóstico, sem expor o paciente novamente à aquisição de imagem. A ferramenta, que possui sua atuação pouco esclarecida pelo fabricante, apesar de promissora, foi pouco estudada na literatura acerta da similaridade de características do volume reconstruído e um originalmente adquirido.

No melhor do nosso conhecimento, apenas um estudo (Queiroz et al., 2018) avaliou a ferramenta para avaliação de detecção de fratura radiculares verticais e horizontais, mostrando que as imagens reconstruídas foram similares às originalmente adquiridas para essa tarefa de

diagnóstico, ou seja, não houve diferença nos valores de diagnóstico entre os dois tipos de imagem. Entretanto, ainda não estão disponíveis estudos que objetivamente comparem a expressão de artefatos entre as imagens originais e as reconstruídas com a ferramenta zoom, especialmente o de alteração volumétrica, já que ele pode ser afetado por parâmetros que a ferramenta se propõe a modificar (FOV e Voxel).

Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar influência da aplicação da ferramenta de reconstrução zoom na expressão de artefatos de distorção volumétrica a partir de diferentes materiais odontológicos de alta densidade/número atômico, variando o tamanho de FOV e voxel na imagem de TCFC. A hipótese nula é que a aplicação da ferramenta não interfere na expressão do artefato de alteração volumétrica entre os diferentes materiais quando comparados com aquisições originais.

# 2. ARTIGO: Influence of cone beam CT zoom reconstruction on the expression of volumetric alteration artefacts

**Full title:** Influence of cone beam CT zoom reconstruction on the expression of volumetric alteration artefacts

Short title: Influence of zoom reconstruction on volumetric alteration artefacts

Type of manuscript: Research article

**Authors:** Fernanda Bulhões Fagundes<sup>1</sup>, Deivi Cascante-Sequeira<sup>1</sup>, Deborah Queiroz Freitas<sup>1</sup>, Matheus Lima de Oliveira<sup>1</sup>, Frederico Sampaio Neves<sup>2</sup>.

# **Qualifications and affiliations:**

<sup>1</sup> Department of Oral Diagnosis, Division of Oral Radiology, Piracicaba Dental School, University of Campinas, Piracicaba, Brazil.

<sup>2</sup> Department of Propedeutics and Integrated Clinic, Division of Oral Radiology, School of Dentistry, Federal University of Bahia, Salvador, Brazil.

# Correspondence to Fernanda Bulhões Fagundes

Department of Oral Diagnosis, Division of Oral Radiology, Piracicaba Dental School, University of Campinas, Piracicaba, Brazil.

Av. Limeira, 901, 13414-903, Piracicaba – SP, Brazil

Phone/Fax: + 55 19 2106- 5327

E-mail: fbfagundes@gmail.com

# Abstract

Objective: To evaluate the influence of the zoom reconstruction tool on the volumetric alteration artefacts from different dental materials, varying the FOV and voxel size in the CBCT. Methods: Five cylinders of amalgam, chromium-cobalt, gutta-percha, titanium and zirconia were individually allocated in a homogeneous polymethylmethacrylate phantom to perform CBCT exam. Each cylinder was scanned using the Veraview X800 unit in 3 protocols:  $80 \times 80$  mm FOV and 0.125 mm voxel,  $40 \times 40$  mm FOV and 0.125 mm voxel, and  $40 \times 40$ mm FOV and 0.08 mm voxel. The zoom reconstruction tool reconstructed the first protocol volume in two protocols:  $40 \times 40$  mm FOV and 0.125 mm voxel, and  $40 \times 40$  mm FOV and 0.08 mm voxel. Two calibrated oral radiologists adopted a semi-automatic segmentation method to measure the tomographic volume of the cylinders using the ITK-SNAP software. The difference between the tomographic and physical volumes was calculated in percentage. The multi-way ANOVA test assessed the influence of the studied factors (material, FOV, voxel, reconstruction type), followed by Tukey's post-hoc test. Results: The zoom tool influenced the volumetric alteration only for the zirconium (0.125 mm voxel) when compared to the original protocol (p=0.009), overestimating the volume. The FOV size influenced the volumetric alteration, only for the gutta-percha (p=0.005). Only zirconium showed a statistical difference between the voxel sizes (p<0.0001). Conclusion: In general, the zoom tool can be used, as for most materials, there is no difference in volumetric alteration when compared to original acquisitions.

Key-words: Cone-Beam Computed Tomography, dental materials, artefacts.

# Introduction

Cone beam computed tomography (CBCT) has become an imaging modality of essential importance for diagnosis and treatment planning in dentistry.<sup>1</sup> When compared with multislice computed tomography (MSCT), CBCT stands out for having lower cost, greater accessibility, and higher spatial resolution of hard tissues.<sup>1–3</sup> Additionally, despite the relatively low radiation dose observed in CBCT, the benefits from this examination should be clear enough to outweigh the biological risks associated with the exposure to ionizing radiation, following the ALADA principle.<sup>4</sup>

Multiple acquisition parameters, such as kVp, mA, and field of view (FOV) and voxel sizes, can be adjusted to reduce the radiation dose and, possibly, optimize the CBCT examination for specific diagnostic tasks.<sup>5</sup> Although there is no clear consensus in the scientific literature, studies have shown that smaller voxel sizes contribute to a more accurate diagnosis of, for instance, second mesio-buccal root canals<sup>6</sup> and vertical root fractures.<sup>7</sup>

An inherent limitation of CBCT is artefact formation, which can be related to the equipment, patient's ability to remain still during the exposure or X-ray interaction with structures inside and/or outside the FOV. The volumetric alteration artefact, namely blooming, is a prominent type of artefact that affects highly attenuating materials.<sup>8</sup> The magnitude of volumetric alteration depends on the selection of acquisition parameters,<sup>9</sup> such as kVp and mA levels, the shape of the FOV (cylindrical or triangular),<sup>10</sup> the CBCT unit model,<sup>11</sup> and possibly voxel and FOV sizes.<sup>12</sup> Furthermore, the atomic number and physical density of the object of interest also proved to influence the expression of this artefact.<sup>13</sup>

Some CBCT units are equipped with the ability to reconstruct previously acquired CBCT volumes with reduced FOV and/or voxel sizes, marketed as zoom reconstruction. This function technically allows for better visualization of details and consequently increases diagnostic accuracy without reexposing the patient. To the best of the authors' knowledge, only one study<sup>14</sup> has addressed zoom reconstruction, which revealed promising outcomes; dental root fracture detection using CBCT zoom reconstructions was similar to those from CBCT conventional reconstructions originally obtained with more appropriate FOV and voxel sizes for this diagnostic task. Despite the apparent advantages, limited information is available on the operation of this tool.

The possibility of quantitatively assessing CBCT gray values, associated with the frequent presence of metallic materials in the oral cavity, is relevant to advance knowledge

towards CBCT zoom reconstruction. Thus, the aim of this study was to evaluate the influence of CBCT zoom reconstruction on the expression of volumetric alteration artefacts. The null hypothesis stated that CBCT zoom reconstruction does not influence the expression of the volumetric alteration artefacts.

## **Materials and Methods**

## Sample characterization

Custom-made cylinders (diameter, 5.5 mm; height, 5.5mm) composed of five materials – amalgam, chromium-cobalt, gutta-percha, titanium, and zirconia – were produced (Figure 1A). Table 1 shows atomic number, physical density, and volume of the cylinders.



Figure 1 - Sample components. A - Cylinders of, from left to right, amalgam, chromium-cobalt, gutta-percha, titanium, and zirconia; B – Polymethylmethacrylate phantom – anterior view –. C – Polymethylmethacrylate phantom – superior view –. Arrow indicating the perforations used for cylinders allocation.

Each cylinder was individually placed in a imaging phantom for further CBCT acquisition. This phantom was homogeneously composed of polymethylmethacrylate (PMMA; diameter, 100 mm; height, 43.5 mm), and had perforations arranged with the shape of a dental arch to adapt the cylinders and, thus, simulate different dental positions.<sup>15</sup>

Material	Atomic number (Z)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Physical volume
			(mm <sup>3</sup> )
Amalgam (Am)		10.9	124.81
Mercury	80		
Silver	47		
Zinc	30		
Chromium-cobalt (Cc)		7.8	128.48
Chromium	27		
Cobalt	24		
Gutta-percha (Gu)		2.6	131.36
Zinc	30		
Carbon	6		
Hydrogen	1		
Titanium (Ti)	22	6	130.88
Zirconium (Zr)	40	6.1	124.34

**Table 1.** Materials, atomic number of compounds, density, and physical volume of the cylinders.

## CBCT image generation

Cone beam CT acquisitions were performed of the imaging phantom stabilized and centered in the Veraview X800 unit (Morita MFG. CORP., Tokyo, Japan) adjusted at 90 kVp, 5 mA, an exposure time of 9.4 s, and a rotation arch of 180°, which produces 282 basis images (Figure 1B).

Three repeated CBCT acquisitions were performed with each cylinder individually inserted into the imaging phantom at four different positions – anterior right, anterior left, posterior right, and posterior left – (Figure 1C) and at three acquisition protocols of FOV and voxel sizes: (1)  $80 \times 80$  mm FOV and 0.125 mm voxel size, (2)  $40 \times 40$  mm FOV and 0.08 mm voxel size, and (3)  $40 \times 40$  mm FOV and 0.125 mm voxel size.

After the acquisitions, the zoom reconstruction tool was applied to protocol  $80 \times 80$  mm FOV and 0.125 mm voxel size to generate two additional protocols: (1)  $40 \times 40$  mm FOV

and 0.08 mm voxel size and (2)  $40 \times 40$  mm FOV and 0.125 mm voxel size (Table 2), totaling 300 CBCT examinations (3 repetitions  $\times$  5 materials  $\times$  4 positions  $\times$  5 protocols) (Figure 2).

**Table 2.** Field of view and voxel sizes (in millimeters) of the CBCT volumes produced from two types of reconstructions: original and zoom.

<b>Reconstruction Type</b>	Field of View	Voxel
Original	40  imes 40	0.08
Original	40  imes 40	0.125
Original*	80  imes 80	0.125
Zoom	$40 \times 40$	0.08
Zoom	40  imes 40	0.125

\*Original reconstruction from which zoom reconstructions were generated.



**Figure 2 -** Axial slices of the medium part of the cylinders, according to materials – Amalgam (Am); Chromium-Cobalt (Cc); Gutta-percha (Gu); Titanium (Ti); Zirconia (Zr) – and protocols of the study – FOV (voxel size). There was not the same scale for all images.

#### Image evaluation

To determine the expression of the volumetric alteration artefact, the volume of the cylinders was segmented using the semi-automatic method of the ITK-SNAP 3.6 software (Penn Image Computing and Science Laboratory, Pennsylvania, USA).<sup>16</sup> A calibrated oral radiologist selected a region of interest (ROI) such that the entire cylinder was involved. The dimensions of the ROIs were  $80 \times 80 \times 80$  pixels for CBCT volumes of 0.08 mm voxel size and  $60 \times 60 \times 60$  pixels for CBCT volumes of 0.125 mm voxel size.

For segmentation purposes, a lower threshold value was visually determined to highlight the margins and the inner part of the cylinder, which was complemented by adding circles of 0.5 mm in diameter, referred to as bubbles. Then, the segmentation process was completed, and manual adjustments could be made by removing or adding pixels to some intern unfilled regions of the cylinder. Finally, the volume of the cylinder (in mm<sup>3</sup>) was obtained and tabulated. Additionally, another calibrated oral radiologist assessed 30% of all CBCT volumes to evaluate inter-observer reproducibility. After 15 days, both radiologists reassessed 30% of the CBCT volumes from their first assessment to evaluate intra-observer reproducibility.

#### Statistical analysis

Statistical analysis of data was performed using the SPSS 23.0 software (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). The CBCT-based volume of the cylinders was subtracted from the actual volume and expressed as a relative value (in percentage). Then, the multi-way ANOVA test was applied to assess the influence of the studied factors (material, FOV size, voxel size, and reconstruction type), followed by Tukey's *post-hoc* test. The level of significance was set at 5% ( $\alpha$ =0.05). The intraclass correlation coefficient was performed to assess the reproducibility of the method.

#### Results

The intraclass correlation coefficient for intra-observer reproducibility was 0.7476 and for inter-observer reproducibility was 0.7702, both classified as excellent agreement according to Fleiss (1986).<sup>17</sup>

#### Zoom reconstruction

Table 3 summarized the data obtained in percentage. In general, zoom reconstruction presented slightly higher values of volumetric alteration, except for the chromium-cobalt material and titanium (0.08 mm voxel). However, only for the zirconium with the 0.125 mm voxel size this alteration was statistically significant when compared with the original protocol (p=0.009), in which there was a overestimation.

# FOV influence

The size of the FOV did not influence the volumetric alteration, except for the guttapercha, which, for the  $80 \times 80$  mm FOV, there was a statistically significant difference (p=0.005), compared to the  $40 \times 40$  mm FOV. There was a lower percentage number (0.01%), closer to physical volume in the  $80 \times 80$  mm FOV, in comparison to an underestimation of 4.12 % for the  $40 \times 40$  mm FOV.

#### Voxel influence

Concerning voxel size, only zirconium showed a statistically significant difference, between 0.125 and 0.08 voxels, for the  $40 \times 40$  mm FOV within the original acquisition volumes (p<0.0001). The voxel size of 0.125 mm had less volumetric alteration (3.40%) than that of 0.08 mm (6.35%).

## Material influence

Figure 3 shows the behavior of each material as a function of the protocol. Depending on the protocol, there was a significant difference between the materials (p<0.0001). Amalgam

was the material with the greatest volumetric distortion, being overestimated regardless of the protocol. Conversely, gutta-percha was underestimated in most of the protocols. Chromium-cobalt, zirconium and titanium had intermediate percentage values of volumetric alteration, depending on the protocol.

In the protocol of  $80 \times 80$  mm FOV and 0.125 mm voxel size, chromium-cobalt, zirconium and titanium did not differ among themselves. However, amalgam and gutta-percha differed from each other and all other materials. In the protocol  $40 \times 40$  FOV and 0.125 mm voxel, gutta-percha differed from all materials, amalgam was similar only with the titanium, and the chromium-cobalt and zirconium were similar with each other and with titanium. In the protocol  $40 \times 40$  mm FOV and 0.08 mm voxel, gutta-percha differed from all materials, and amalgam was similar only with zirconium. Chromium-cobalt and titanium were similar to each other and with zirconium. For the zoom reconstructed volumes, in the protocol  $40 \times 40$  mm FOV and 0.125 mm voxel, all materials were statistically different from each other and, in the protocol  $40 \times 40$  mm and 0.125 mm voxel, only amalgam and zirconium were similar.



**Figure 3** - Radar graph demonstrating the behavior of the materials for each protocol – FOV (voxel size). Different letters represent the statistical difference between materials within the same protocol, p<0.0001. Amalgam (Am); Chromium-Cobalt (Cc); Gutta-percha (Gu); Titanium (Ti); Zirconium (Zr).

Material	FOV	Voxel	Original	Zoom
	40 x 40	0.08	8.31 (0.86)	9.15 (0.84)
Amalgam	40 x 40	0.125	6.86 (1.37)	8.08 (1.66)
	80 x 80	0.125	9.29 (2.40)	-
	40 x 40	0.08	4.58 (1.42)	2.78 (1.31)
Chromium-cobalt	40 x 40	0.125	3.39 (2.29)	2.17 (1.17)
	80 x 80	0.125	3.62 (4.66)	-
	40 x 40	0.08	-6.46 (0.52)	-7.49 (1.32)
Gutta-percha	40 x 40	0.125	-4.12 (4.00)	-5.94 (2.76)
	80 x 80	0.125	0.01 (2.64)**	-
	40 x 40	0.08	3.99 (1.54)	-0.43 (1.73)
Titanium	40 x 40	0.125	4.56 (2.85)	4.57 (2.03)
	80 x 80	0.125	2.78 (4.15)	-
	40 x 40	0.08	6.35 (1.40)	6.37 (1.33)
Zirconium	40 x 40	0.125	3.40 (1.73) #	6.44 (1.11) *
	80 x 80	0.125	4.10 (2.24)	-

**Table 3.** Values in percentage (%) and standard deviation of the volumetric alteration for each material, according to FOV, voxel and reconstruction type (original or zoom tool).

.\*differs from the "original" acquisition within the same material and voxel (horizontal comparison), p=0.009;

#differs from voxel 0.08, within the same material and FOV, p<0.0001;

\*\*differs from FOV 40 x 40, within the same material and protocol, p=0.005.

## Discussion

The study of the volumetric alteration artefacts is essential; understanding its expression under different conditions makes it possible to predict its behavior and better interpret CBCT images, as it is influenced by acquisition parameters,<sup>9</sup> CBCT unit<sup>11</sup> and material.<sup>9,10,13</sup> Zoom reconstruction stands out for the ability to reconstruct a given area of interest from previously acquired CBCT scans into new volumes with reduced FOV and voxels sizes without having to reexpose the patient to ionizing radiation and increase image.<sup>14</sup> A lower voxel size has been proven to be very useful for various diagnostic tasks.<sup>6,7</sup> Thus, evaluating whether zoom reconstruction affects volumetric alteration artefacts in the same way as original acquisitions is necessary. Therefore, this study aimed to evaluate the application of the zoom reconstruction and its FOV and voxel variations in the expression of volumetric alteration artefact from different dental materials. The performance of the zoom reconstruction tool in the evaluation proposed in this study was dependent on the scanned material.

The volumetric alteration is material dependent and can be expressed as over-or underestimation.<sup>10,13,18</sup> As in several studies, the materials used in this study demonstrated particular behavior concerning tomographic volumetric alteration, which can be explained, among other factors, by intrinsic characteristics such as physical density, atomic number of its sub compounds and composition homogeneity.<sup>13</sup> In accordance with previous studies,<sup>9,10,18</sup> amalgam showed the highest volumetric alteration rate, regardless of the protocol used, mainly due to the high atomic number of its compounds and greater density among the cylinders. Conversely, chromium-cobalt and zirconia had very similar intermediate values, showing intermediate values of density and atomic number. Titanium, despite its density very similar to zirconia, had less volumetric alteration, which its lower atomic number can explain. Finally, gutta-percha, which was underestimated in most protocols, presents the lowest density and atomic number. Despite the characteristics of the materials, some of them were affected by the protocols used in this study, such as gutta-percha and zirconia.

The zoom reconstruction performance was applied in the detection of root fractures and analyzing image quality.<sup>14</sup> Subjective and objective evaluations were conducted, concluding that, concerning the proposed diagnosis, there was no statistical difference between the reconstructed and the originally acquired volume, being even superior in the diagnostic capacity compared to a protocol that combined FOV and larger voxels about the reconstructed ones. However, in relation to image quality evaluated through the noise, the zoom reconstruction was inferior to the original similar and the one with larger FOV and voxel. Although direct comparison is not possible, our study corroborates these findings, as we identified that the application of the tool in general, increases the expression of the volumetric change, being only significant for zirconia, where the protocol  $40 \times 40$  mm FOV and 0.125 mm voxel size acted overestimating the volume of the material. Several factors may have contributed to the difference between only this material in this protocol. Like amalgam, zirconia has high atomic number. However, it is a more homogeneous material with a lower density, possible contributing to a uniform expression of artefacts around the material.

Even though we did not primarily aim to assess voxel and FOV sizes in our study, these factors influenced the expression of the volumetric alteration, depending on the material. Regarding the influence of FOV size on volume change, there is no consensus in the literature. <sup>9,10,12</sup> However, in general, the studies showed that the impact of the FOV size can be significant, and the use of smaller FOVs is recommended for better expression of the volumetric change.<sup>12</sup> Thus, as can be subjectively observed in the axial images (Figure 2), in the smaller the FOV size image, a more significant distortion of the cylinder shape was evidenced, assuming a similar shape to the convex triangular, when compared to the characteristic cylindrical shape in the FOV of larger size. A study previously<sup>10</sup> described this difference in form for the convex and cylindrical triangular FOVs. It can be given by the path-motion interaction of the source around the high atomic number and/or high-density material, and the shape of the volume end is rebuilt. Thus, cylinders of distorted materials (such as a convex triangle) could present a smaller volumetric change than those more circular ones observed in three of the materials evaluated in this study (amalgam, chromium-cobalt and zirconia).

Conversely, the significant difference between the FOV sizes resulted in a smaller volumetric change for the larger FOV (80x80), but only in the gutta-percha material. The same trend is observed in titanium, although there is no statistical difference. Both materials have lower atomic numbers of their predominant compounds and similar internal characteristics (absence of hyperdense halo around the cylinder), which may explain the difference in the behavior of these materials in relation to the others.

Also, the voxel size influenced in the volumetric change for the zirconium. The protocol with the smallest voxel (0.08 mm) demonstrated the most significant amount of volumetric change. Although only zirconium has a significant value, there is a tendency among most materials to occur this phenomenon. This factor can be explained as a result of the partial volume effect.<sup>19</sup> Due to this effect, there is a tendency that the volumes with higher voxel size

sub estimate, to the detriment to those with smaller ones that super estimate. It is more critical at the edges of the cylinder, where at the highest voxel, a larger region is suppressed. In contrast, fewer and smaller voxels are affected by the effect for the smallest voxel images, then more grey values are considered during segmentation, resulting in a superior tomographic volume.

Similarly, the i-CAT CBCT unit (Imaging Sciences International, Inc, Hatfield, PA, USA) has a tool which is possible to reconstruct the images in smaller voxel sizes. Its performance was evaluated to detect external root resorption.<sup>20</sup> The authors conclude by recommending using the tool in the reconstruction of smaller voxels from the larger one, as the reconstructed volume was similar to the original for the evaluated diagnostic task. In this study, the authors mention that the recommendation aims at the lowest radiation dose for the patient. Although our study did not assess the absorbed radiation dose, the same acquisition parameters (kVp and mA) were used for all original protocols. Thus, it is understood that there is no dose difference between them. Therefore, it is neither recommended or necessary to use a larger voxel and its reconstruction through the zoom tool for cases where the necessity for a smaller voxel size and greater clarity is already identified. Since there will be no reduction in the radiation dose to the patient between one original acquisition with larger reconstructed with smaller voxel. Again, it is highlighted that the tool is only indicated to avoid new acquisitions when the patient already has previously acquired volumes.

Despite the theories raised to explain the results, the image acquisition process is dynamic.<sup>10,19,21</sup>Thus, it is not possible, using tomographic reconstruction, to isolate the manifestation of only one artefact generated from the technique and by high-density materials and atomic numbers for image evaluation. Certainly, artefacts resulting from the beam hardening phenomenon interfere in assessing volumetric alteration, despite not being a study factor.

Similar to other studies, <sup>9,10</sup> it was possible to observe a specific difficulty in segmenting the edges of some cylinders, which may have been due to the divergence of the radiation beam at the borders of the object. In addition, a slight but consistent increase in the intensity of grey values can be noticed moving towards the top, which can lead to a certain degree of imprecision in the assessment of these regions. <sup>22</sup> Thus, it was necessary to increase the safety of the result of this study, to increase the size of the evaluated sample.

Some limitations are associated with the development of the study. First, this is an objective in-vitro study. Therefore, despite seeking to understand the behavior of materials in

the performance of the tool, it does not correspond and should not base direct clinical conclusions, mainly because the study proposes to evaluate cylinders with dimensions and degrees of disproportionate compaction compared to that used in dental materials for implants, restorations and dental prostheses. Furthermore, future studies are encouraged to understand the influence of the zoom tool in the expression of other types of metal artefacts as a result of the beam hardening effect. Finally, a scenario closer to the clinical one evaluates the tool's performance in improving sharpness in diagnostics tasks such as accessory root canal detection.

# Conclusion

In general, CBCT zoom reconstruction can be used as, for most dental materials, no difference in volumetric alteration was observed when compared to original volumes obtained with the same acquisition protocols and in in vitro conditions.

# Acknowledgements

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Finance Code 001.

# **Conflicts of interest**

The authors declare explicitly that there are no conflicts of interest in relation with this article.

# References

- Farman AG, Scarfe WC. The Basics of Maxillofacial Cone Beam Computed Tomography. *Semin Orthod* 2009; 15: 2–13. doi: https://doi.org/10.1053/j.sodo.2008.09.001
- Scarfe WC, Farman AG. What is Cone-Beam CT and How Does it Work ? 2008; 52: 707–30. doi: https://doi.org/10.1016/j.cden.2008.05.005
- Gaêta-Araujo H, Alzoubi T, de Faria Vasconcelos K, Orhan K, Pauwels R, Casselman JW, et al. Cone beam computed tomography in dentomaxillofacial radiology: A twodecade overview. Vol. 49, Dentomaxillofacial Radiology. 2020. doi: https://doi.org/10.1259/DMFR.20200145
- 4. Jaju PP, Jaju SP. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. *maging Sci Dent* 2015; 45: 263–5.
- Pauwels R. Cone beam CT for dental and maxillofacial imaging: Dose matters. *Radiat Prot Dosimetry* 2015; 165: 156–61. doi: https://doi.org/10.1093/rpd/ncv057
- Mouzinho-Machado S, Rosado L de PL, Coelho-Silva F, Neves FS, Haiter-Neto F, de-Azevedo-Vaz SL. Influence of Voxel Size and Filter Application in Detecting Second Mesiobuccal Canals in Cone-beam Computed Tomographic Images. *J Endod* 2021; 47: 1391–7. doi: https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.06.011
- De Martin e Silva D, Campos CN, Pires Carvalho AC, Devito KL. Diagnosis of Mesiodistal Vertical Root Fractures in Teeth with Metal Posts: Influence of Applying Filters in Cone-beam Computed Tomography Images at Different Resolutions. *J Endod* 2018; 44: 470–4. doi: https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.08.030
- Hoffmann U, Ferencik M, Cury RC PA. Coronary CT angiography. *J Nucl Med* 2006; 45: 797–806.
- Codari M, de Faria Vasconcelos K, Ferreira Pinheiro Nicolielo L, Haiter Neto F, Jacobs R. Quantitative evaluation of metal artefacts using different CBCT devices, high-density materials and field of views. *Clin Oral Implants Res* 2017; 28: 1509–14. doi: https://doi.org/10.1111/clr.13019
- Cascante-Sequeira D, Coelho-Silva F, Rosado LPL, Freitas DQ, de-Azevedo-Vaz SL, Haiter-Neto F. Comparison of the expression of the volumetric alteration artefact in

cylindrical and triangular fields of view in two cone-beam computed tomography devices. Clinical Oral Investigations. 2021. doi: https://doi.org/10.1007/s00784-021-04086-1

- Wanderley VA, de Faria Vasconcelos K, Leite AF, Pauwels R, Shujaat S, Jacobs R, et al. Impact of the blooming artefact on dental implant dimensions in 13 cone-beam computed tomography devices. *Int J Implant Dent* 2021; 7:. doi: https://doi.org/10.1186/s40729-021-00347-6
- Celikten B, Jacobs R, deFaria Vasconcelos K, Huang Y, Nicolielo LFP, Orhan K. Assessment of Volumetric Distortion Artefact in Filled Root Canals Using Different Cone-beam Computed Tomographic Devices. *J Endod* 2017; 43: 1517–21. doi: https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.035
- Coelho-Silva F, Martins LAC, Braga DA, Zandonade E, Haiter-Neto F, de-Azevedo-Vaz SL. Influence of windowing and metal artefact reduction algorithms on the volumetric dimensions of five different high-density materials: A cone-beam CT study. Vol. 49, Dentomaxillofacial Radiology. 2020. doi: https://doi.org/10.1259/DMFR.20200039
- Queiroz PM, Santaella GM, Capelozza ALA, Rosalen PL, Freitas DQ, Haiter-Neto F. Zoom Reconstruction Tool: Evaluation of Image Quality and Influence on the Diagnosis of Root Fracture. Vol. 44, Journal of Endodontics. 2018. p. 621–5. doi: https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.10.011
- Martins LAC, Queiroz PM, Nejaim Y, De Faria Vasconcelos K, Groppo FC, Haiter-Neto F. Evaluation of metal artefacts for two CBCT devices with a new dental arch phantom. *Dentomaxillofacial Radiol* 2020; 49:. doi: https://doi.org/10.1259/dmfr.20190385
- 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. doi: https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.015
- 17. Fleiss JL. The Design and Analysis of Clinical Experiments. *J R Stat Soc Ser A* 1987;
  150: 400–400. doi: https://doi.org/10.2307/2982050
- 18. Coelho-Silva F, Gaêta-Araujo H, Rosado LPL, Freitas DQ, Haiter-Neto F, de-

Azevedo-Vaz SL. Distortion or magnification? An in vitro cone-beam CT study of dimensional changes of objects with different compositions . Dentomaxillofacial Radiology. 2021. p. 20210063. doi: https://doi.org/10.1259/dmfr.20210063

- Schulze R, Heil U, Groß D, Bruellmann DD, Dranischnikow E, Schwanecke U, et al. Artefacts in CBCT: A review. *Dentomaxillofacial Radiol* 2011; 40: 265–73. doi: https://doi.org/10.1259/dmfr/30642039
- 20. Neves FS, Vasconcelos T V, Vaz SLA, Freitas DQ. Evaluation of reconstructed images with different voxel sizes of acquisition in the diagnosis of simulated external root resorption using cone beam computed tomography. 2012; 234–9. doi: https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01966.x
- Pauwels R, Stamatakis H, Bosmans H, Bogaerts R, Jacobs R, Horner K, et al. Quantification of metal artefacts on cone beam computed tomography images. Vol. 24, Clinical Oral Implants Research. 2013. p. 94–9. doi: https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02382.x
- Molteni R. Prospects and challenges of rendering tissue density in Hounsfield units for cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2013; 116: 105–19. doi: https://doi.org/10.1016/j.0000.2013.04.013

# 3. CONCLUSÃO

Em geral, a ferramenta de reconstrução Zoom pode ser usada, já que para a maioria dos materiais, não apresenta diferença na alteração volumétrica quando comparada com aquisições originais de mesmos parâmetros, em estudos *in vitro*.

# REFERÊNCIAS

- Cascante-Sequeira D, Coelho-Silva F, Rosado LPL, Freitas DQ, de-Azevedo-Vaz SL, Haiter-Neto F. Comparison of the expression of the volumetric alteration artifact in cylindrical and triangular fields of view in two cone-beam computed tomography devices. Clin. Oral Investig. 2021.
- Celikten B, Jacobs R, deFaria Vasconcelos K, Huang Y, Nicolielo LFP, Orhan K. Assessment of Volumetric Distortion Artifact in Filled Root Canals Using Different Cone-beam Computed Tomographic Devices. J Endod [Internet]. Elsevier Inc; 2017;43(9):1517–21. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2017.03.035
- Codari M, de Faria Vasconcelos K, Ferreira Pinheiro Nicolielo L, Haiter Neto F, Jacobs R. Quantitative evaluation of metal artefacts using different CBCT devices, high-density materials and field of views. Clin Oral Implants Res. 2017;28(12):1509–14.
- Coelho-Silva F, Martins LAC, Braga DA, Zandonade E, Haiter-Neto F, de-Azevedo-Vaz SL. Influence of windowing and metal artefact reduction algorithms on the volumetric dimensions of five different high-density materials: A cone-beam CT study. Dentomaxillofacial Radiol. 2020.
- Farman AG, Scarfe WC. The Basics of Maxillofacial Cone Beam Computed Tomography. Semin Orthod [Internet]. Elsevier Inc.; 2009;15(1):2–13. Available from: http://dx.doi.org/10.1053/j.sodo.2008.09.001
- Fleiss JL. The Design and Analysis of Clinical Experiments. J R Stat Soc Ser A [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 1987 Jul 1 [cited 2021 Nov 25];150(4):400–400. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2307/2982050
- Gaêta-Araujo H, Alzoubi T, de Faria Vasconcelos K, Orhan K, Pauwels R, Casselman JW, et al. cone beam computed tomography in dentomaxillofacial radiology: A two-decade overview. Dentomaxillofacial Radiol. 2020.
- Hoffmann U, Ferencik M, Cury RC PA. Coronary CT angiography. J Nucl Med. 2006;45(5):797–806.
- Jaju PP, Jaju SP. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. maging Sci Dent. 2015;45:263–5.
- Machado AH, Fardim KAC, De Souza CF, Sotto-Maior BS, Assis NMSP, Devito KL. Effect of anatomical region on the formation of metal artefacts produced by dental implants in cone beam computed tomographic images. Dentomaxillofacial Radiol. 2018;47(3).
- De Martin e Silva D, Campos CN, Pires Carvalho AC, Devito KL. Diagnosis of Mesiodistal Vertical Root Fractures in Teeth with Metal Posts: Influence of Applying Filters in Cone-beam Computed Tomography Images at Different Resolutions. J Endod. 2018;44(3):470–4.
- Martins LAC, Queiroz PM, Nejaim Y, De Faria Vasconcelos K, Groppo FC, Haiter-Neto F. Evaluation of metal artefacts for two CBCT devices with a new dental arch phantom. Dentomaxillofacial Radiol. 2020;49(5).
- Mouzinho-Machado S, Rosado L de PL, Coelho-Silva F, Neves FS, Haiter-Neto F, de-Azevedo-Vaz SL. Influence of Voxel Size and Filter Application in Detecting Second

Mesiobuccal Canals in Cone-beam Computed Tomographic Images. J Endod. 2021;47(9):1391–7.

- Pauwels R. Cone beam CT for dental and maxillofacial imaging: Dose matters. Radiat Prot Dosimetry. 2015;165(1–4):156–61.
- Queiroz PM, Santaella GM, Capelozza ALA, Rosalen PL, Freitas DQ, Haiter-Neto F. Zoom Reconstruction Tool: Evaluation of Image Quality and Influence on the Diagnosis of Root Fracture. J. Endod. 2018. p. 621–5.
- Scarfe WC, Farman AG. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? 2008;52:707-30.
- Schulze R, Heil U, Groß D, Bruellmann DD, Dranischnikow E, Schwanecke U, et al. Artefacts in CBCT: A review. Dentomaxillofacial Radiol. 2011;40(5):265–73.
- Wanderley VA, de Faria Vasconcelos K, Leite AF, Pauwels R, Shujaat S, Jacobs R, et al. Impact of the blooming artefact on dental implant dimensions in 13 cone-beam computed tomography devices. Int J Implant Dent. International Journal of Implant Dentistry; 2021;7(1).

# APÊNDICE 1 METODOLOGIA DETALHADA

# 1. Caracterização da Amostra

Cinco cilindros previamente confeccionados (Coelho-Silva et al., 2020) e de conhecidas dimensões (diâmetro: 5,5mm e altura: 5,5mm), composições e volume físico foram selecionados (Tabela 1), de modo a representar nesse estudo, os materiais odontológicos no interior da cavidade bucal: Amálgama (Southern Dental Industries Ltd., SDI, Austrália); Crômio-Cobalto (Laboratório Scardua, Vila Velha, Brasil); Guta-percha (Dentsply, Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil); Titânio (S.I.N. Implantes, São Paulo, Brasil); e Zircônia (Laboratório Scardua, Vila Velha, Brasil) (Figura 1 - A).

Para estabilização dos cilindros, um fantoma de polimetilmetacrilato (PMMA) homogêneo, com 100 mm de diâmetro por 43,5 mm por altura, previamente proposto e desenvolvido (Martins et al., 2020) foi utilizado. O fantoma possuía perfurações que atravessam todo o material e três camadas removíveis, que para as aquisições, eram estabilizadas com auxílio de cilindros também de PMMA que atravessam os orifícios laterais e conectam as camadas (Figura 1- B e C). Os demais orifícios foram arranjados em formato de arco, a fim de simular as posições dentárias, já que foram o local de posicionamento dos cilindros dos materiais selecionados. Eles possuíam dimensões adequadas às dos cilindros utilizados nesse estudo: 5,5mm de diâmetro e o dobro da altura dos cilindros, 11 mm, de forma que os mesmos ocupassem a porção média dos orifícios.

## 2. Aquisição das imagens

Para aquisição das imagens, cada cilindro, individualmente, era inserido nos orifícios, mais especificamente, em 4 orifícios, sendo eles nomeados segundo as posições: A (anterior direita), B (anterior esquerda), C (posterior esquerda) e D (posterior direita), de modo que cada cilindro foi escaneado em cada posição (Figura 2). No momento das aquisições, os demais orifícios eram preenchidos por cilindros de PMMA, para que a imagem os orifícios não fossem gerados, e sim, uma condição homogênea.

Material	Número atômico	Densidade física(g/cm <sup>3</sup> )	Volume físico
	( <b>Z</b> )		( <b>mm</b> <sup>3</sup> )
Amalgama (Am)		10,9	124,81
Mercúrio	80		
Zinco	47		
Prata	30		
Cobalto- Crômio (Cc)		7,8	128,48
Cobalto	24		
Crômio	27		
Guta-percha (Gu)		2,6	131,36
Carbono	6		
Hidrogênio	1		
Titânio (Ti)	22	6	130,88
Zircônia (Zr)	40	6,1	124,34

Tabela 1. Materiais, número atômico dos compostos, densidade, e volume físico dos cilindros.



**Figura 1.** Componentes da amostra. **A** - Cilindros de, da esquerda para direita, Amalgama (Am), Crômio-Cobalto (Cc); Gutapercha (Gu); Titânio (Ti) e Zircônia (Zr); **B** – Fantoma de polimetilmetacrilato (PMMA), vista superior; **C** – Fantoma, vista anterior.



**Figura 2.** Vista superior do fantoma de polimetilmetacrilato (PMMA) e seus respectivos orifícios: A, B, C e D.

O aparelho Veraview® X800 (MORITA MFG. CORP., Tokio, Japan) foi utilizado para as aquisições, sendo utilizados parâmetros de exposição similares para todas as aquisições: 90 kVp e 5 mA, tempo de exposição de 9,4 segundos e rotação de 180° (282 imagens base). O fantoma era estabilizado com auxílio de uma plataforma de mesmo material (PMMA) e a padronização do posicionamento assegurado através da manutenção da localização das linhas de orientação (guias luminosas) do aparelho tomográfico (Figura 3).



**Figura 3.** Posicionamento do fantoma para aquisição de imagem. Padronização do posicionamento através das guias de iluminação. A – Vista anterior do fantoma; B – Vista superior.

Para as aquisições, foram feitas variações nos tamanhos de FOV e voxel. Dessa forma, cada cilindro em cada posição (A-D) foi escaneado individualmente sob 03 protocolos de aquisição: FOV de 80x80 e tamanho de voxel de 0,125 mm; 40x40 e tamanho de voxel 0,08 mm; e 40x40 e 0,125 mm de voxel. Para cada protocolo, 03 repetições eram realizadas, possibilitando assim, o aumento do valor da amostra tomográfica e melhor correspondência dos resultados posteriormente analisados estatisticamente. Após as aquisições, a ferramenta de reconstrução Zoom, disponível no aparelho utilizado, que atua possibilitando a alteração do tamanho de FOV e/ou voxel foi aplicada ao volume de 80x80 com 0,125mm de voxel, de modo a adquirir volumes reconstruídos com dois "protocolos": 40x40 e 0,08 mm de voxel e 40x40 com 0,125 mm de voxel (Tabela 2).

**Tabela 2.** Disposição dos protocolos dos volumes tomográficos (volumes originais e volumes reconstruídos com a ferramenta zoom), segundo o tamanho de campo de visão (Field of View – FOV) e voxel (entre parênteses), ambos em milímetros. O grupo hachurado correspondente ao protocolo 80x80 (0,125) derivou, através da reconstrução, os volumes da segunda coluna.

Volumes originalmente adquiridos	Volumes reconstruídos através da
	ferramenta Zoom
40x40 mm (0,08 mm)	40x40 mm (0,08 mm)
40x40 mm (0,125 mm)	40x40 mm (0,125 mm)
80x80 mm (0,125 mm)	-

Dessa forma, o número total da amostra foi: 5 materiais x 4 posições x 3 repetições x 5 protocolos, resultando em 300 volumes tomográficos que foram exportados no formato *Digital Image Comunication in Medicine* (DICOM) e randomizados utilizando o RANDOM.ORG (Randomness and Integrity Services Ltd., Dublin, Ireland) para permitir uma avaliação cega.

#### 3. Avaliação das Imagens

Os volumes foram avaliados individualmente por dois radiologistas orais com experiência em TCFC, e previamente calibrados para o método de segmentação adotado. O primeiro avaliou toda a amostra (300 volumes), e o segundo 30% (90 volumes). Para determinar a expressão do artefato de alteração volumétrica, os avaliadores segmentaram os volumes dos

cilindros nas imagens de TCFC, utilizando o software ITK-SNAP versão 3.6 (Yushkevich et al., 2006), através do método semiautomático disponível.

Para isso, cada volume foi aberto no software e selecionado a adequada região de interesse (ROI) de modo a envolver todo o cilindro (tamanhos de ROIs:  $80 \times 80 \times 80$  pixels para os volumes de 0,08 de tamanho de voxel, e 60 x 60 x 60 pixels para os volumes com 0,125 de tamanho voxel), (Figura 4).



**Figura 4.** Página do software, exibindo o momento de seleção da Região de Interesse (ROI), de forma a contemplar toda a área do cilindro. Para esse volume, foi utilizado o tamanho de 80x80x80 pixels em razão do tamanho de voxel de 0,08 mm.

O próximo passo da segmentação foi a seleção da ferramenta "*Lower Threshold*" que determina através de uma escala numérica o intervalo de tons de cinza correspondentes ao volume a ser segmentado. Os valores do intervalo eram selecionados individualmente para cada volume avaliado, de modo que as margens e a parte interna fossem destacadas do resto da área do volume, dessa forma, correspondendo à morfologia de cada cilindro (Figura 5). Quando necessário, a ferramenta "*Zoom to fit*" era aplicada para que o volume do cilindro fosse mais bem observado e as margens mais bem delimitadas.

Em seguida, a ferramenta "*Add Bubbles*" era aplicada, atuando aplicando bolhas (de forma manual), com dimensões padronizadas em 0,5 mm por toda a área interna do cilindro (Figura 6). Após essa etapa, a segmentação era finalizada, sendo possível, se necessário, a realização de ajustes manuais através da ferramenta "*Brush*", que atua removendo ou

acrescentando pixels à região interna não preenchida do cilindro. Ao final do ajuste, o valor em mm<sup>3</sup> do volume segmentado era obtido e tabulado (Figura 7).

Para a avaliação da reprodutibilidade do método adotado, a reavaliação de 30% da amostra foi realizada pelos avaliadores (90 volumes avaliados pelo primeiro avaliador e 27 volumes pelo segundo), após 15 dias da realização das avaliações.



**Figura 5.** Página do software exibindo o momento da determinação numérica do intervalo dos tons de cinza correspondentes ao cilindro, através da ferramenta: *"Lower Threshold"* (destacado por retângulo vermelho).



**Figura 6.** Página do software exibindo o momento da aplicação das bolhas (0,5 mm de diâmetro) na parte interna do cilindro, através da ferramenta "*Add Bubbles*" (destacada por retângulo vermelho).



**Figura 7.** Página do software exibindo a finalização da segmentação. Toda a área do cilindro está preenchida pela malha vermelha, que representará o volume (em mm<sup>3</sup>) do cilindro avaliado.

# 5. Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada através do programa SPSS 23.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EUA). A média da diferença entre o volume tomográfico medido e o volume físico de cada cilindro foi adquirido e expresso em porcentagem, bem como expresso o desvio padrão entre os volumes de mesmo material e protocolo. A partir desses dados, foi aplicado o teste ANOVA *multi-way* para avaliação da influência dos fatores estudados (material, tamanho do FOV, tamanho do voxel e modo – original x zoom), seguido do *post-hoc* de Tukey, adotando um nível de significânica de 5%.

Para avaliação da reprodutibilidade do método, o índice de Correlação Intraclasse (ICC) foi calculado, de modo a obter as reprodutibilidades intra e interexaminador, de acordo com (Fleiss, 1987).

# ANEXO 1 – Links do currículo Lattes e Orcid do autor

Currículo Lattes: http://lattes.cnpq.br/8504927427112284

Orcid: https://orcid.org/0000-0002-9777-4197

# ANEXO 2 – Relatório Turnitin

Disse	rtação				
ORIGINALI	TY REPORT				
1 (	)% ITY INDEX	8% INTERNET SOURCES	5% PUBLICATIONS	4% STUDENT P	APERS
PRIMARY S	OURCES				
1	Submitt Student Pape	ed to Universio	dad de Costa R	ica	2%
2	reposito	p <mark>rio.unicamp.b</mark>	r		2%
3	Deivi Ca Silva, Lu Queiroz express artifact view in t tomogra Investig Publication	ascante-Sequei icas P. Lopes R Freitas et al. " ion of the volu in cylindrical an two cone-bean aphy devices", ations, 2021	ra, Fernanda Co cosado, Debora Comparison of metric alteration nd triangular fio n computed Clinical Oral	oelho- h the on elds of	1 %
4	onlinelik Internet Sour	orary.wiley.con	n		1%
5	Larissa Costa O Nejaim parame third mo	Pereira Lagos ( enning, Mariar et al. "Influenc ters on the eva olars through c	de Melo, Anne na Rocha Nada e of acquisition aluation of mar cone beam com	Caroline es, Yuri I Idibular Iputed	<1%

#### ANEXO 3 – Comprovante de submissão do artigo

Submission confirmation for "Influence of cone beam CT zoom reconstruction on the expression of volumetric alteration artifacts" D FOP- Dissertação ×

DMFR Office <em@editorialmanager.com></em@editorialmanager.com>	qui., 27 de jan. 23:35	☆	•	:
🔀 indlês 🔹 > português 🛫 Traduzir mensagem	Desativa	ar para:	inglês	×

🛪 inglês • > português • Traduzir mensagem

CC. "Deivi Cascante-Sequeira" danlikes@gmail.com, "Deborah Queiroz Freitas" deborahq@unicamp.br, "Matheus L. Oliveira" matheuso@unicamp.br, "Frederico Sampaio Neves" fredsampaio@yahoo.com.br

#### Dear Fernanda

You are receiving this e-mail as you are listed as the corresponding author or as a co-author on the submission entitled "Influence of cone beam CT zoom reconstruction on the expression of volumetric alteration artifacts", which has been received by Dentomaxillofacial Radiology.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Editorial Manager as an Author at https://www.editorialmanager.com/dmfr/.

Username: fbfagundes

If you already know your password, please login with it. If you have just been registered, or you have forgotten your password, please activate the following link to create a password: https://www.editorialmanager.com/dmfr/l.asp?i=72745&I=CM23OIKJ. If you cannot activate the above password link please go to "https://www.editorialmanager.com/dmfr/l", click "login" then click "Send login details" or please notify me by replying directly to this email.

You will be informed by email of the manuscript reference number in due course

If you do not think you should be listed as an author of this work, please get in touch with the editor (michael.bornstein@unibas.ch).

Thank you for submitting your work to DMFR.

\*\*\*Please note, during the current unprecedented demands on global healthcare systems due to COVID 19, we are anticipating potential delays to our standard timely editorial processes. All scholarly journals rely on volunteer expert reviewers and these same experts are supporting their national healthcare services during the current emergency. Submissions will still be subject to the same robust peer review as expected.\*\*\*

Kind regards, DMFR Office ÷