



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

NICOLLY OLIVEIRA SANTOS

**INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL, RESOLUÇÃO DE
CONTRASTE E FILTROS DE APRIMORAMENTO NA ANÁLISE DA
DIMENSÃO FRACTAL DO OSSO ALVEOLAR POR MEIO DE
IMAGENS RADIOGRÁFICAS DIGITAIS**

**INFLUENCE OF SPATIAL RESOLUTION, BIT DEPTH AND
ENHANCEMENT FILTERS IN THE FRACTAL DIMENSION ANALYSIS
OF ALVEOLAR BONE BY MEANS OF DIGITAL RADIOGRAPHIC
IMAGES**

**Piracicaba
2019**

NICOLLY OLIVEIRA SANTOS

**INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL, RESOLUÇÃO DE CONTRASTE E FILTROS
DE APRIMORAMENTO NA ANÁLISE DA DIMENSÃO FRACTAL DO OSSO ALVEOLAR
POR MEIO DE IMAGENS RADIOGRÁFICAS DIGITAIS**

**INFLUENCE OF SPATIAL RESOLUTION, BIT DEPTH AND ENHANCEMENT FILTERS IN
THE FRACTAL DIMENSION ANALYSIS OF ALVEOLAR BONE BY MEANS OF DIGITAL
RADIOGRAPHIC IMAGES**

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

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

Orientador: Prof. Dr. Matheus Lima de Oliveira

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA NICOLLY OLIVEIRA SANTOS, E ORIENTADA PELO PROF. DR. MATHEUS LIMA DE OLIVEIRA.

**Piracicaba
2019**

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1292-3852>

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

OL4i Oliveira-Santos, Nicolly, 1993-
Influência da resolução espacial, resolução de contraste e filtros de aprimoramento na análise da dimensão fractal do osso alveolar por meio de imagens radiográficas digitais / Nicolly Oliveira Santos. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Matheus Lima de Oliveira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Fractais. 2. Osso esponjoso. 3. Radiografia dentária digital. 4. Intensificação de imagem radiográfica. 5. Processamento de imagem assistida por computador. I. Oliveira, Matheus Lima de, 1984-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Influence of spatial resolution, bit depth and enhancement filters in the fractal dimension analysis of alveolar bone by means of digital radiographic images

Palavras-chave em inglês:

Fractals

Cancellous bone

Radiography, dental, digital

Radiographic image enhancement

Image processing computer-assisted

Área de concentração: Radiologia Odontológica

Titulação: Mestra em Radiologia Odontológica

Banca examinadora:

Matheus Lima de Oliveira [Orientador]

Christiano de Oliveira Santos

Cláudio Costa

Data de defesa: 07-01-2019

Programa de Pós-Graduação: Radiologia Odontológica

Identificação e informações acadêmicas e profissionais da aluna

- **ORCID:** 0000-0002-1292-3852

- **Currículo Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/7611034722196542>



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 07 de Janeiro de 2019, considerou a candidata NICOLLY OLIVEIRA SANTOS aprovada.

PROF. DR. MATHEUS LIMA DE OLIVEIRA

PROF. DR. CLÁUDIO COSTA

PROF. DR. CHRISTIANO DE OLIVEIRA SANTOS

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.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Campinas, em nome do reitor Prof. Dr. Marcelo Knobel.

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

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Ao Programa de Pós-graduação em Radiologia Odontológica, em nome da Profa. Dra. Deborah Queiroz de Freitas França.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus Lima de Oliveira, por todo o conhecimento passado.

Aos professores da Radiologia Odontológica da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Prof. Dr. Frab Norberto Boscolo, Profa. Dra. Solange Maria de Almeida Boscolo, Prof. Dr. Francisco Haiter Neto, Profa. Dra. Deborah Queiroz de Freitas França e Prof. Dr. Matheus Lima de Oliveira, pelo empenho no ensino e incentivo ao crescimento profissional de cada um dos alunos do programa.

A minha banca de defesa, Prof. Dr. Cláudio Costa e Prof. Dr. Christiano de Oliveira Santos, bem como os suplentes, Profa. Dra. Maria Augusta Portella Guedes Visconti e Prof. Dr. Alexandre Rodrigues Freire.

A minha banca de qualificação, Profa. Dra. Deborah Queiroz de Freitas França, Prof. Dr. Yuri Nejaim e Prof. Dr. Victor Emanuel Armini Caldas.

Aos funcionários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

Aos funcionários da Radiologia Odontológica, Luciane, Waldeck, Sarah e Fernando.

A todos os alunos e amigos do programa de Radiologia, pelos conhecimentos divididos e por tornarem a jornada mais leve e agradável, em especial, Wilson Gustavo Cral, Larissa Moreira Souza, Eduarda Helena Leandro do Nascimento, Rocharles Cavalcante Fontenele e Hugo Gaêta Araujo, por todo o carinho e apoio durante o mestrado.

Aos amigos de outros programas que participaram dessa caminhada, em especial, Rachel Lamarck, Samuel de Carvalho Chaves Júnior e Ricardo Armini Caldas.

A todos os amigos que a vida me deu, principalmente a Luciane Uchôa Melo e Cléber da Cunha Soares Filho, amigos que me apoiam desde a graduação.

Ao meu afilhado, Pedro Sant'Anna Moraes, quem também me faz buscar crescer, como pessoa e como profissional.

A minha família, tios, primos, avó e, principalmente, meus pais, Luís e Adenísia, os maiores incentivadores da minha vida acadêmica e, meus irmãos e melhores amigos, Andressa, Nicolás e Maira.

E principalmente, à Deus, que me fortaleceu, me abençoou e me guiou até aqui.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A análise de dimensão fractal (DF) demonstra, de forma numérica, a complexidade de estruturas consideradas fractais, como o osso alveolar, por isso o objetivo nesse estudo foi avaliar a influência da resolução espacial, da resolução de contraste e de filtros de aprimoramento digital no valor de DF de imagens radiográficas do osso alveolar. Para isso foram selecionadas 20 regiões anatômicas de molares em 10 mandíbulas humanas secas e adquiridas cinco repetidas radiografias periapicais de cada região utilizando o sistema radiográfico digital VistaScan. Todas as imagens foram adquiridas pelo aparelho radiográfico Focus ajustado para operar a 70 kVp, 7 mA, com tempo de exposição de 0,16 s e distância foco-receptor de 30 cm, utilizando uma única placa de fósforo. As imagens foram escaneadas sob duas resoluções espaciais (1270 dpi e 2000 dpi) e, para cada imagem original, três filtros de aprimoramento de imagem foram aplicados: Fine, Endo e Perio. Posteriormente, todas as imagens foram exportadas em TIFF sob dois níveis de resolução de contraste (8 e 16 bit). Por meio do software ImageJ, uma região de interesse foi selecionada sobre o trabeculado ósseo alveolar e o valor de DF foi calculado pelo método box-counting diferencial do plugin FracLac. A função Macro do referido software foi utilizada para garantir que a mesma região fosse selecionada em todas as imagens. O teste ANOVA multifatorial com post-hoc de Tukey foi realizado para comparar os valores de DF entre as imagens radiográficas com diferentes resoluções espaciais, resoluções de contraste e filtros de aprimoramento. Os resultados obtidos mostraram que os valores de DF não diferiram significativamente entre 8 e 16 bits ($p > 0,05$) e, com exceção das imagens com filtro Perio, foram significativamente maiores para 1270 dpi. Os filtros Endo, Perio e Fine diferiram significativamente entre si ($p \leq 0,05$), sendo que o filtro Fine foi significativamente menor ($p \leq 0,05$) e não diferiu significativamente da imagem original ($p > 0,05$). Dessa forma, concluiu-se que a análise de dimensão fractal é influenciada pela resolução espacial e alguns filtros de aprimoramento digital de imagens radiográficas do osso alveolar; portanto, as características da imagem e processamento devem ser padronizadas para essa finalidade.

Palavras chave: Fractais. Osso trabecular. Radiografia dentária digital. Intensificação de imagem radiográfica. Processamento de imagem Assistida por computador.

ABSTRACT

The fractal dimension (FD) analysis demonstrates numerically the complexity of structures considered as fractals, such as the alveolar bone, thus the objective of this study was to evaluate the influence of spatial resolution, bit depth and digital enhancement filters on the FD value of radiographic images of alveolar bone. For this purpose, 20 anatomical regions of molars were selected in 10 dry human mandibles and five repeated periapical radiographs were obtained from each region using the VistaScan digital radiographic system. All images were acquired by the Focus dental X-ray, adjusted to operate at 70 kVp, 7 mA, exposure time of 0.16 s and a focus-receptor distance of 30 cm, using a single phosphor plate. The images were scanned under two spatial resolutions (1270 dpi and 2000 dpi) and, for each original image, three image enhancement filters were applied: Fine, Endo and Perio.. Subsequently, all images were exported in TIFF under two levels of bit depth (8 and 16 bit). Using ImageJ software, a region of interest was selected on alveolar bone trabeculation and the FD value was calculated using the differential box-counting method of the FracLac plugin. The Macro function of said software was used to ensure that the same region was selected on all images. The multivariate ANOVA test and post-hoc Tukey were performed to compare the FD values between radiographic images with different spatial resolutions, bit depths and enhancement filters. The results showed that FD values did not differ significantly between 8 and 16 bits ($p > 0.05$) and, except for images with Perio filter, were significantly higher for 1270 dpi. The Endo, Perio and Fine filters differed significantly ($p \leq 0.05$), and the Fine filter was significantly smaller ($p \leq 0.05$) and did not differ significantly from the original image ($p > 0.05$). Thus, it was concluded that fractal dimension analysis is influenced by spatial resolution and some filters of digital enhancement of radiographic images of alveolar bone; therefore, image characteristics and processing should be standardized for this purpose.

Key-words: Fractals. Trabecular bone. Dental digital radiography. Radiographic image enhancement. Image processing, computer-assisted.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 ARTIGO: Influence of phosphor plate-based radiographic image specifications on the fractal dimension analysis of alveolar bone	12
3 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27
Apêndice 1: Metodologia detalhada	31
ANEXOS	
Anexo 1: Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (FOPUNICAMP)	36
Anexo 2: Relatório de originalidade pelo software Turnitin	43

1 INTRODUÇÃO

A análise fractal, que é expressa numericamente como dimensão fractal (DF), é um método objetivo e quantitativo adequado para expressar a complexidade de estruturas. O valor de DF para imagens bidimensionais varia de 1 a 2 e para imagens tridimensionais de 2 a 3, sendo que valores maiores de DF indicam estruturas mais complexas (Mandelbrot, 1983; Harrar e Hamami, 2008; Kwak et al., 2016; Arsan et al., 2017). Desde a sua introdução, vários estudos vêm sendo desenvolvidos utilizando esse método em diferentes campos da ciência, como na engenharia (Guida et al., 2017), física (Rajkumar et al., 2017) e geofísica (Kagan, 2007). Na Odontologia, a análise fractal também tem se tornado alvo de estudos, em particular na Radiologia, em que, a partir de radiografias digitais e técnicas de análise de imagem, a DF possibilita avaliar a arquitetura do trabeculado ósseo, por fornecer uma descrição global da complexidade na imagem (Lopes e Betrouni, 2009; Soğur et al., 2013; Pauwels et al., 2015).

A avaliação do trabeculado ósseo permite trazer informações adicionais, como densidade, microestrutura, anisotropia e conectividade (Majumdar et al., 1999), que não são visíveis a olho nu, garantindo, portanto, uma maior eficiência de diagnóstico (Soğur et al., 2013; Arsan et al., 2017). Por isso, o trabeculado ósseo tem sido objeto de pesquisas que buscam obter o valor de DF de uma região específica e associar esse valor, que caracteriza a sua complexidade representada na imagem, com aspectos clínicos de pacientes com diferentes condições, como desordem temporomandibular e alterações osteoartríticas (Arsan et al., 2017), hiperparatireoidismo primário (Ergün et al., 2009), osteogênese imperfeita (Apolinário et al., 2016), osteoporose (Geraets e Stelt, 2000; Harrar e Hamami, 2008; Oliveira et al., 2013; Sindeaux et al., 2014), ou para analisar maturação de sutura ou torque de inserção de implantes dentários (Kwak et al., 2016; Suer et al., 2016). Entretanto, ainda existem muitas controvérsias em relação a esse método. (Ergün et al., 2009; Baksi e Fidler, 2011, 2012; Oliveira et al., 2013; Sindeaux et al., 2014). Não se sabe ao certo se as diferenças observadas em valores de DF são resultado de diferenças reais da estrutura óssea observada na imagem ou de diferenças no método para obtenção do valor de DF (Lopes e Betrouni, 2009).

Como a definição do trabeculado ósseo na imagem radiográfica determina o valor de DF, questiona-se se a mudança no número de tons de cinza poderia

aumentar a diferenciação entre as trabéculas e o espaço medular e assim interferir no valor de DF. Relaciona-se, então, a resolução de contraste, que também é expressa como profundidade de bit, e representa o número máximo de tons de cinza que uma imagem apresenta. Ao escolher uma profundidade de 8 bit para a imagem adquirida, isso significa que tal imagem poderá ter até 256 tons de cinza, enquanto que para uma profundidade de 16 bit, o número de tons de cinza aumenta para 65.536, caracterizando, um aumento também na diferenciação entre as densidades na imagem radiográfica (Heo et al., 2008; Heo et al., 2009; Wenzel et al., 2009; Vandenberg et al., 2011).

Considerando que os limites trabeculares são importantes para o cálculo de DF na radiografia digital, deve ser dada atenção à resolução espacial, que está relacionada com a nitidez da imagem e é a capacidade de distinguir detalhes e observar os limites de um objeto em uma imagem através da medida de pares de linha por mm (lp/mm) ou pontos por polegada (dpi) (Wenzel e Møystad, 2010; Nejaim et al., 2016). Ainda, muitos filtros vêm sendo aplicados atualmente na imagem radiográfica digital com a intenção de melhorar a qualidade da imagem. Alguns desses filtros atuam aumentando a nitidez, o que gera um realce dos limites entre regiões com intensidades diferentes, porém tal realce pode aumentar o ruído ou o contraste local (White e Pharoah, 2015).

A alteração da resolução espacial e o tempo de exposição já demonstraram causar mudanças significativas na análise fractal em um sistema de placa de fósforo (Baksi e Fidler, 2012). Além disso, estudos que avaliaram subjetivamente imagens com e sem aplicação de filtros de aprimoramento em imagens provenientes de sistemas de placa de fósforo obtiveram diferença estatística significativa na acurácia de diagnóstico entre as imagens originais e imagens com alguns tipos de filtros (de Azevedo Vaz et al., 2013; Nascimento et al., 2015). Por isso, torna-se pertinente investigar se a aplicação de filtros reflete no método objetivo, que é a análise de DF. Dessa forma, o objetivo no presente estudo foi avaliar a influência da resolução espacial, resolução de contraste e filtro de aprimoramento no valor de DF do osso alveolar.

2 ARTIGO

Esse artigo foi submetido à apreciação, visando a publicação, ao periódico “Clinical Oral Investigations”, considerado Qualis A1 pela CAPES. A estruturação do artigo baseou-se nas “Instruções aos autores” preconizadas pela editora do periódico.

Influence of phosphor plate-based radiographic image specifications on the fractal dimension analysis of alveolar bone

Short title: Radiographic image specifications on the fractal dimension analysis of alveolar bone

Original Article

Corresponding author:

Nicolly Oliveira Santos

University of Campinas. Piracicaba Dental School, Department of Oral Diagnosis. Av. Limeira, 901, Zip Code 13414-903, Piracicaba, São Paulo, Brazil.

Phone: +55 – 19 – 2106-5327

E-mail: nicolly.os@hotmail.com

ABSTRACT

Objectives. To evaluate the influence of spatial resolution, bit depth and enhancement filters on the fractal dimension (FD) of radiographic images of alveolar bone.

Methods. Periapical radiographs of dry human mandibles were obtained using the VistaScan system (Dürr Dental, Beitigheim-Bissingen, Germany). The phosphor plates were scanned under two spatial resolutions – 1270 dpi and 2000 dpi – and the original acquisition subjected to three image enhancement filters: Fine, Endo, Perio. All images were exported in 8- and 16-bits. A region-of-interest was selected on the alveolar trabecular bone and the FD value was calculated by means of the differential box-counting method, using the FracLac plugin from the ImageJ software. The multivariate ANOVA test followed by post-hoc Tukey compared the FD values obtained from radiographic images with different specifications ($\alpha=0.05$).

Results. No significant difference was observed between the FD values obtained from 8- and 16-bit images. Except for the Perio filter, FD values were significantly higher for images at 1270 dpi. Regarding the enhancement conditions, FD values were significantly greater for the Perio filter, followed by the Endo filter. The Fine filter had the significantly lowest FD values and did not differ significantly from the original image.

Conclusions. Fractal dimension analysis of phosphor plate-based radiographic images of alveolar bone is influenced by the spatial resolution and some digital enhancement filters; therefore, image specifications should be standardized for this purpose.

Clinical Relevance. Standardization of digital radiographic image specifications is important in the FD analysis of the alveolar bone.

Key-words: Fractals; Trabecular bone; Dental digital radiography; Radiographic image enhancement; Image processing, computer-assisted.

INTRODUCTION

The fractal analysis is an objective and quantitative method to express the complexity of structures and is numerically represented as fractal dimension (FD); higher FD values indicate more complex structures and vice-versa [1–3]. Numerous studies have been developed using FD in different fields of science, such as engineering [4], physics [5] and geophysics [6]. In dentistry, it has also been used in the evaluation of the radiographic aspect of the trabecular bone architecture [7–9].

The FD analysis of the trabecular bone can add information that is not often visible to the human naked eye, which may contribute to greater diagnostic accuracy [3, 8]. However, controversial outcomes have been observed from studies that correlated FD values with different clinical conditions, such as temporomandibular disorder and osteoarthritic alterations [3], hyperparathyroidism [10], osteogenesis imperfecta [11], osteoporosis [1, 12, 13], suture maturation or implant insertion torque [2, 14]. It is not clear yet whether the observed differences in FD values represent actual changes in bone structure or limitations of the FD analysis [7].

Because the FD analysis is obtained from a digital image, the final outcomes can be influenced by many factors, which, at times, have not been considered in previous studies. Among the most important ones, there are the spatial resolution, bit depth and image enhancement. The spatial resolution, also referred to as sharpness or blurriness, represents the capability of an image to distinguish two objects. The bit depth, also referred to as contrast resolution, indicates the capability of a digital imaging system to produce images with the most accurate level of grey to depict structures of very similar physical properties. The digital image enhancement is a post-processing collection of methods that operate on an image aiming to enhance particular features, such as edges and contrasts, to increase diagnostic accuracy.

Considering the potential contribution of the FD analysis in the diagnostic process, the aim of this study is to evaluate the influence of spatial resolution, bit depth and enhancement filters of phosphor-plate based radiographic images on the FD value of alveolar bone.

MATERIALS AND METHOD

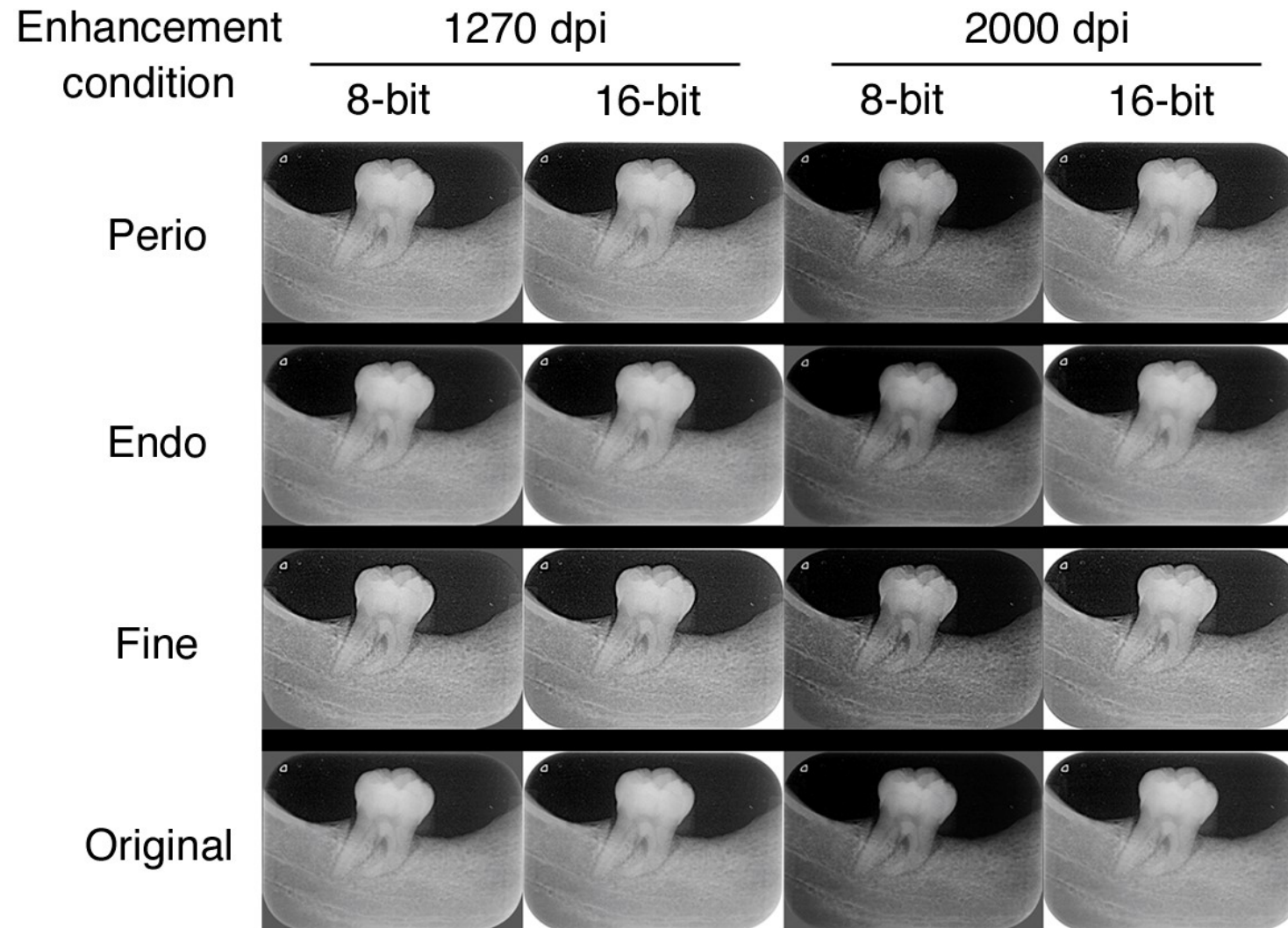
Radiographic acquisition

After the approval by the local institutional research ethics committee (protocol #88145018100005418), ten dry human mandibles were selected for the present study. Five repeated periapical radiographs were obtained using the paralleling technique from 20 posterior anatomical regions with the aid of an acrylic device that allowed for standardized positioning. Also, a 24-mm-thick acrylic plate was placed between the radiation source and the mandible to simulate soft tissue attenuation and scattering.

All radiographic acquisitions were made using the same phosphor plate of size 2 from the VistaScan digital radiographic system (Dürr Dental, Beitigheim-Bissingen, Germany) and the FOCUS dental X-ray (Instrumentarium, Tuusula, Finland), adjusted to operate at 70 kVp, 7 mA, exposure time of 0.16 s and a focus-receptor distance of 30 cm.

Each anatomical region was X-rayed in two spatial resolutions – 1270 dpi (25 lp/mm) and 2000 dpi (40 lp/mm) – using the DBSWIN software (Dürr Dental). Subsequently, each image was subjected to three digital image enhancement filters: Fine, Endo and Perio, and exported as TIFF file format under two bit depths: 8- and 16-bits. This methodological design resulted in 16 evaluation conditions (2 spatial resolutions X 2 bit depths X 4 enhancement conditions) (Fig. 1) with a total of 1600 radiographic images (16 evaluation conditions X 20 anatomical regions X 5 repetitions).

Fig. 1 Representative radiographic images under different conditions of spatial resolution, bit depth and image enhancement



Fractal dimension analysis

A square region-of-interest (ROI) of 240x240 pixels was selected in the 1270 dpi images and of 377x377 pixels in the 2000 dpi images on the alveolar trabecular bone, avoiding anatomical structures such as the periodontal ligament space, dental roots and mandibular canal. The ROIs of the same anatomical region were positioned in the same place in all images by using the Macro function of the ImageJ software (Fig. 2). Each ROI, after being binarized and outlined (Fig. 3), had the FD value calculated using the differential box-counting method, implemented by Sarkar and Chaudhuri (1994) [15] to analyse images in grey scale, from the ImageJ/Fiji software (version 2.0.0), a public domain software developed by the National Institutes of Health (NIH-USA), coupled with the FracLac plug-in (<https://imagej.nih.gov/ij/plugins/fractal/FLHelp/Introduction.htm>). The maximum box size was adjusted at 45% of the ROI size, the minimum box size was two pixels, and the box series was linear [16]. Binarization is a process that converts an image to black and white based on a specific threshold. In the present study, the threshold (T) was automatically calculated as follows: $T = (\text{average background} + \text{average objects})/2$, having the medullary space as the background and the bone trabeculae as the object. Additionally, the outline process contours the pixels of the structures of a binary image (<https://imagej.nih.gov/ij/docs/menus/process.html>).

Fig. 2 Radiographic image at different spatial resolutions with the region of interest (black-outlined square) positioned on the same anatomical region: (a) 1270 dpi and (b) 2000 dpi

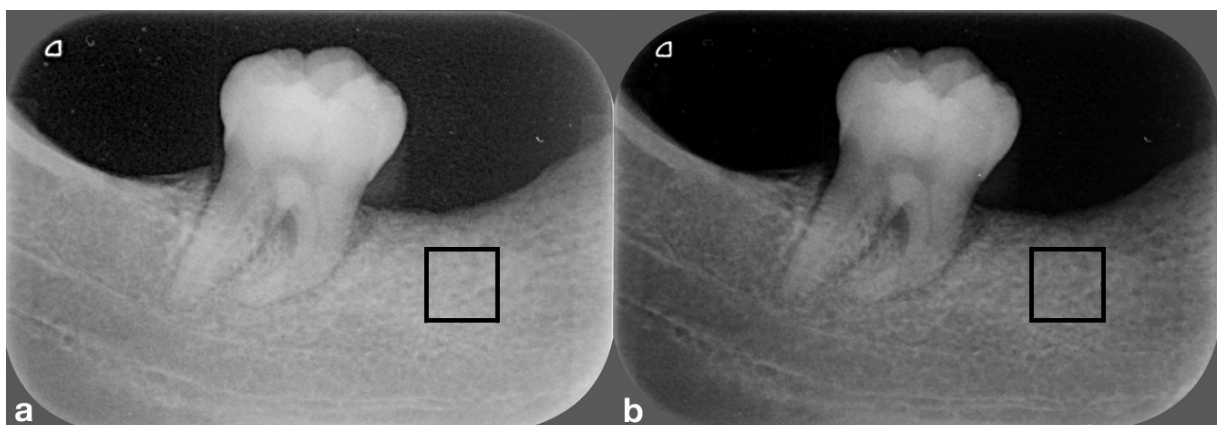
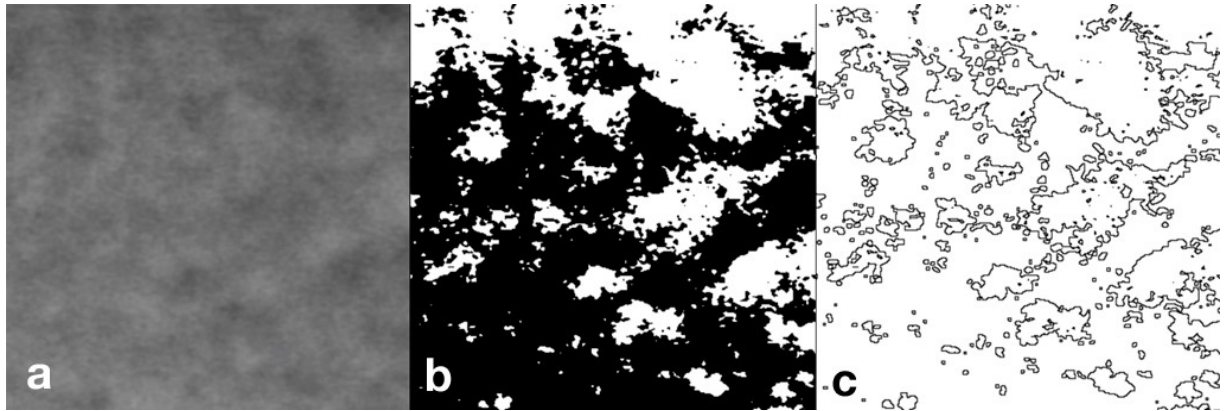


Fig. 3 Resulting cropped region of interest after digital processing for FD analysis: (a) Original; (b) Binarized; (c) Outlined



Statistical analysis

Using the SPSS version 24.0 software (IBM Inc., Chicago, IL, USA) the multivariate analysis of variance (MANOVA) test and post-hoc Tukey compared FD values between different conditions of spatial resolution, bit depth and digital image enhancement. The level of significance adopted was 5% ($\alpha=0.05$).

RESULTS

Table 1 shows FD mean values of images under different conditions of spatial resolution, bit depth and digital image enhancement. There was no statistically significant difference between the FD values of 8- and 16-bit images ($p>0.05$). Regarding the spatial resolution, the FD values were significantly higher for images at 1270 dpi ($p\leq 0.05$), except for the Perio filter.

Concerning the digital enhancement conditions, FD values were significantly greater for the Perio filter, followed by the Endo filter ($p\leq 0.05$). Fine filter and original images had significantly lowest FD values ($p\leq 0.05$) and did not differ significantly with each other ($p>0.05$).

Table 1. Mean values (standard deviation) of FD values according to spatial resolution, bit depth and image enhancement condition.

Bit depth	Enhancement condition	Spatial resolution	
		1270 dpi	2000 dpi
8-bit	Perio	1.75 (0.02) a	1.75 (0.03) a
	Endo	1.71 (0.02) *b	1.68 (0.04) b
	Fine	1.65 (0.05) *c	1.57 (0.06) c
	Original image	1.64 (0.06) *c	1.56 (0.07) c
16-bit	Perio	1.75 (0.02) a	1.76 (0.03) a
	Endo	1.72 (0.02) *b	1.68 (0.04) b
	Fine	1.65 (0.05) *c	1.57 (0.06) c
	Original image	1.64 (0.06) *c	1.57 (0.08) c

*Significantly greater than 2000 dpi for the same enhancement condition and bit depth. Different letters in the same column and bit depth indicate significant difference between enhancement conditions. Bit depth did not show significantly differences ($p>0.05$).

DISCUSSION

Fractal dimension is an objective measurement to describe the complexity of bone tissue architecture, including shapes and structural patterns. Previous studies have indicated controversial results of this analysis for different diagnostic tasks; however, most of them have not followed a strictly standardized method. Geraets and van der Stelt (2000) [12] already stated that all stages in the “analytical chain” of FD have an impact in the assessment of bone, but they were mainly considering the wide range of methods and its variations for estimating the FD. Currently, analogue radiographic systems have been extensively replaced with digital systems, which adds even more stages to this chain and poses extra challenges for image standardization prior to FD analysis.

Modern digital radiographic imaging systems can present two different technologies, which can be easily differentiated based on the type of the receptor: sensor or phosphor plate. Phosphor plate-based radiographic imaging systems have

many similarities with the analog system, with the greatest difference being the need for the scanning of the receptor after radiographic exposure. Scanners have different features according to the manufacturer and this results in images of varying specifications.

Higher spatial resolution produces images of greater sharpness at increased file size. In the present study, except for the Perio filter, the lower spatial resolution (1270 versus 2000 dpi) resulted in significantly greater FD values. The influence of spatial resolution on FD analysis was also observed by Baksi and Fidler (2012) [16]; however, differently from the present study, higher spatial resolution led to increased FD values. Such difference can be possibly explained by the fact that Baksi and Fidler (2012) [16] made use of much lower spatial resolutions (397 and 651 dpi) than those of the present study (1270 and 2000 dpi), which may have resulted in a loss of information of the trabecular bone. The phosphor plate system we used allows for only two spatial resolutions; considering the lack of a gold standard for FD, further studies making use of a wide range of spatial resolutions are recommended to detect any potential correlation with FD values. Also, the action of automatic exposure compensation should be considered when comparing different systems because it has been demonstrated that image contrast can be differently affected [17].

In the present study, the bit depths tested did not significantly affect the FD values, which suggests that the complexity of the alveolar trabecular bone is not influenced by the grey scale. Therefore, we recommend using 8-bit images since less processing time and storage is required. To the best of the authors' knowledge, no other study has assessed bit depth for FD analysis. Studies comparing different bit depths of digital radiographic systems for diverse diagnostic tasks concluded that higher values led to better structure differentiation [18–20]; however, these studies made use of subjective analyses, such as sensitivity and specificity, and evaluated different structures, such as teeth and dental materials.

Currently, an extensive number of digital enhancement filters is available in the market of radiographic systems [21–23]. This is beneficial because it increases the possibility of image enhancement, but fairly limiting because filters are software-specific, i.e. they are not standardized. The current methodology included filters from DBSWin software that the authors considered appropriate to the assessment of the alveolar trabecular bone: Perio, Endo and Fine. Irrespective of the spatial resolution

and bit depth, the Perio filter had the highest FD values, followed by the Endo and Fine, which did not differ from the original image without any filter. This reveals that some enhancement filters adjust the radiographic grey scale in such a way that affects the FD values. Considering the widespread use of tools for manipulating image characteristics in digital radiographic systems [13, 21, 24], the present study shows that importance should be given to the processing that the radiographic image may have passed when the bone complexity is analyzed through the FD.

Interestingly, all image enhancement filters used in this study are categorized as high-pass filters, which increases the sharpness of the radiographic image [22, 23]. In a recent study, Vidor et al. (2017) [22] made use of the Fourier transform to analyze the behavior of high and low frequency signals in the image using the same filters of the present study and observed that the Perio filter increases the participation of high frequencies while decreases the participation of low frequencies by 90%, the Endo filter by 80%, the Fine filter by 50% [22]. Thus, it is possible to observe that FD values increase linearly with increased sharpness and decreased smoothing. Additionally, as reported by the manufacturer of the DBSWin software, the Perio and Endo filters enhance structures of 2.5 and 3 lp/mm, respectively, with strong attenuation of low frequencies. Because the box-counting method for FD analysis considers the interface between the trabecular bone and bone marrow [7, 12, 25, 26], the enhancement of bone trabeculation from the Perio and Endo filters must have been more impacting, causing a considerably increase in the FD values.

The present methodology made use of a digital tool (Macro function) from the ImageJ software to ensure that the ROIs were exactly on the same location/position on the repeated radiographic images of the same anatomical region. However, it should be mentioned that, even making use of an apparatus to keep the same geometrical setup, the authors detected an unavoidable minimal shift of the images because the phosphor plate gets slightly loose in the cassette when scanning. Despite this limiting condition, the standard deviation of the FD values ranged from 0.02 to 0.08 (coefficient of variation between 1 and 5%), which indicates no substantial influence on our results. Furthermore, such limitation represents the clinical scenario.

Many studies in the scientific literature have assessed FD on panoramic radiographs. However, the present study made use of periapical radiographs for

being an imaging modality of higher spatial resolution and less image superimposition. Importantly, Bollen et al. (2001) [27] compared panoramic and periapical techniques and concluded that the latter leads to higher values of FD.

The most relevant contribution of our outcomes to the scientific literature is the inclusion of additional steps for image standardization prior to FD analysis. Any further study on this topic should consider this in depth. As new technologies are developed and deployed, new studies are needed to verify if the outcomes from obsolete systems are still valid.

CONCLUSION

Fractal dimension analysis is influenced by the spatial resolution and by some digital enhancement filters of radiographic images of the alveolar bone; therefore, image characteristics and processing should be standardized.

REFERENCES

1. Harrar K, Hamami L (2008) The fractal dimension correlated to the bone mineral density. *Wseas Trans Signal Process* 4:110–126
2. Kwak KH, Kim SS, Kim Y-I, Kim Y-D (2016) Quantitative evaluation of midpalatal suture maturation via fractal analysis. *Korean J Orthod* 323–330. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4041/kjod.2016.46.5.323>
3. Arsan B, Köse TE, Çene E, Özcan İ (2017) Assessment of the trabecular structure of mandibular condyles in patients with temporomandibular disorders using fractal analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 123:382–391. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2016.11.005>
4. Guida G, Casini F, Viggiani GM (2017) Contour fractal analysis of grains. *EPJ Web Conf* 140:05008. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201714005008>
5. Rajkumar B, Haque S, Hruvey W (2017) Fractal Dimensions of Umbral and Penumbral Regions of Sunspots. *Sol Phys* 292:170.

- <https://doi.org/10.1007/s11207-017-1184-2>
6. Kagan YY (2007) Earthquake spatial distribution: the correlation dimension. *Geophys J Int* 168:1175–1194. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03251.x>
 7. Lopes R, Betrouni N (2009) Fractal and multifractal analysis: A review. *Med Image Anal* 13:634–649. <https://doi.org/10.1016/j.media.2009.05.003>
 8. Soğur E, Baksı BG, Gröndahl H-G, Şen BH (2013) Pixel intensity and fractal dimension of periapical lesions visually indiscernible in radiographs. *J Endod* 39:16–19. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.10.016>
 9. Pauwels R, Faruangsang T, Charoenkarn T, et al (2015) Effect of exposure parameters and voxel size on bone structure analysis in CBCT. *Dentomaxillofac Radiol* 44:20150078. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20150078>
 10. Ergün S, Saraçoğlu A, Güneri P, Özpınar B (2009) Application of fractal analysis in hyperparathyroidism. *Dentomaxillofac Radiol* 38:281–289. <https://doi.org/10.1259/dmfr/24986192>
 11. Apolinário AC, Sindeaux R, de Souza Figueiredo PT, et al (2016) Dental panoramic indices and fractal dimension measurements in osteogenesis imperfecta children under pamidronate treatment. *Dentomaxillofac Radiol* 45:20150400. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20150400>
 12. Geraets WGM, Stelt PF Van Der (2000) Fractal properties of bone. *Dentomaxillofac Radiol* 144–153
 13. Oliveira ML, Pedrosa EFNC, Cruz AD, et al (2013) Relationship between bone mineral density and trabecular bone pattern in postmenopausal osteoporotic Brazilian women. *Clin Oral Investig* 17:1847–1853. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0882-2>
 14. Suer B, Yaman Z, Buyuksarac B (2016) Correlation of fractal dimension values with implant insertion torque and resonance frequency values at implant recipient sites. *Int J Oral Maxillofac Implants* 31:55–62. <https://doi.org/10.11607/jomi.3965>
 15. Sarkar N, Chaudhuri BB (1994) An efficient differential box-counting approach to compute fractal dimension of image. *IEEE Trans Syst Man Cybern* 24:115–120. <https://doi.org/10.1109/21.259692>
 16. Baksı BG, Fidler A (2012) Image resolution and exposure time of digital radiographs affects fractal dimension of periapical bone. *Clin Oral Investig*

- 16:1507–1510. <https://doi.org/10.1007/s00784-011-0639-3>
17. Dos Santos Galvão N, Nascimento EHL, Lima CAS, et al (2018) Can a high-density dental material affect the automatic exposure compensation of digital radiographic images? *Dentomaxillofacial Radiol*. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180331>
 18. Heo M-S, Choi D-H, Benavides E, et al (2009) Effect of bit depth and kVp of digital radiography for detection of subtle differences. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 108:278–283. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.12.053>
 19. Heo M-S, Han D-H, An B-M, et al (2008) Effect of ambient light and bit depth of digital radiograph on observer performance in determination of endodontic file positioning. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 105:239–244. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.02.002>
 20. Wenzel A, Haiter-Neto F, Frydenberg M, Kirkevang L-L (2009) Variable-resolution cone-beam computerized tomography with enhancement filtration compared with intraoral photostimulable phosphor radiography in detection of transverse root fractures in an in vitro model. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 108:939–945. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.07.041>
 21. Haiter-Neto F, Spinelli Casanova M, Frydenberg M, Wenzel A (2009) Task-specific enhancement filters in storage phosphor images from the Vistascan system for detection of proximal caries lesions of known size. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 107:116–121. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.09.031>
 22. Vidor MM, Liedke GS, Vizzotto MB, et al (2017) Imaging evaluating of the implant/bone interface—an in vitro radiographic study. *Dentomaxillofacial Radiol* 46:20160296. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20160296>
 23. Brasil DM, Yamasaki MC, Santaella GM, et al (2018) Influence of VistaScan image enhancement filters on diagnosis of simulated periapical lesions on intraoral radiographs. *Dentomaxillofacial Radiol* 20180146. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180146>
 24. Kal Bİ, Baksı BG, DüNDAR N, Şen BH (2007) Effect of various digital processing algorithms on the measurement accuracy of endodontic file length. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* 103:280–284.

- <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2006.06.001>
25. Chappard D, Legrand E, Haettich B, et al (2001) Fractal dimension of trabecular bone: comparison of three histomorphometric computed techniques for measuring the architectural two-dimensional complexity. *J Pathol* 195:515–521. <https://doi.org/10.1002/path.970>
 26. Leite AF, de Souza Figueiredo PT, Caracas H, et al (2015) Systematic review with hierarchical clustering analysis for the fractal dimension in assessment of skeletal bone mineral density using dental radiographs. *Oral Radiol* 31:1–13. <https://doi.org/10.1007/s11282-014-0188-y>
 27. Bollen A, Taguchi A, Hujuel PP, Hollender LG (2001) Fractal dimension on dental radiographs. 270–275

3 CONCLUSÃO

A análise de dimensão fractal é influenciada pela resolução espacial e alguns filtros de aprimoramento digitais de imagens radiográficas do osso alveolar; portanto, as características da imagem e processamento devem ser padronizadas para essa finalidade.

.

REFERÊNCIAS

- Apolinário AC, Sindeaux R, de Souza Figueiredo PT, Guimarães ATB, Acevedo AC, Castro LC, et al. Dental panoramic indices and fractal dimension measurements in osteogenesis imperfecta children under pamidronate treatment. *Dentomaxillofacial Radiol* [Internet]. 2016 Apr;45(4):20150400. Available from: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr.20150400>
- Arsan B, Köse TE, Çene E, Özcan İ. Assessment of the trabecular structure of mandibular condyles in patients with temporomandibular disorders using fractal analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* [Internet]. 2017 Mar;123(3):382–91. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212440316306770>
- de Azevedo Vaz SL, Neves FS, Figueirêdo EP, Haiter-Neto F, Campos PSF. Accuracy of enhancement filters in measuring in vitro peri-implant bone level. *Clin Oral Implants Res* [Internet]. 2013 Oct;24(10):1074–7. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0501.2012.02511.x>
- Baksi BG, Fidler A. Fractal analysis of periapical bone from lossy compressed radiographs: A comparison of two lossy compression methods. *J Digit Imaging* [Internet]. 2011 Dec 5;24(6):993–8. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10278-011-9383-0>
- Baksi BG, Fidler A. Image resolution and exposure time of digital radiographs affects fractal dimension of periapical bone. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2012 Oct 29;16(5):1507–10. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00784-011-0639-3>
- Ergün S, Saraçoğlu A, Güneri P, Özpinar B. Application of fractal analysis in hyperparathyroidism. *Dentomaxillofacial Radiol* [Internet]. 2009 Jul;38(5):281–9. Available from: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr/24986192>
- Geraets WGM, Stelt PF Van Der. Fractal properties of bone. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2000;(February):144–53.
- Guida G, Casini F, Viggiani GM. Contour fractal analysis of grains. Radjai F, Nezamabadi S, Luding S, Delenne JY, editors. *EPJ Web Conf* [Internet]. 2017

* De acordo com as normas da UNICAMP/FOP, baseadas na padronização do International Committee of Medical Journal Editors - Vancouver Group. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o PubMed.

- Jun 30;140:05008. Available from: <http://www.epj-conferences.org/10.1051/epjconf/201714005008>
- Harrar K, Hamami L. The fractal dimension correlated to the bone mineral density. *Wseas Trans Signal Process*. 2008;4(3):110–26.
- ImageJ, National Institutes of Health. Bethesda: NIH ImageJ. [acesso 2018 Dez 18]. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/menus/process.html>
- Kagan YY. Earthquake spatial distribution: the correlation dimension. *Geophys J Int* [Internet]. 2007 Mar;168(3):1175–94. Available from: <https://academic.oup.com/gji/article-lookup/doi/10.1111/j.1365-246X.2006.03251.x>
- Karperien, A., FracLac for ImageJ. <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/fractal/FLHelp/Introduction.htm>. 1999-2013.
- Kwak KH, Kim SS, Kim Y-I, Kim Y-D. Quantitative evaluation of midpalatal suture maturation via fractal analysis. *Korean J Orthod*. 2016;323–30.
- Lopes R, Betrouni N. Fractal and multifractal analysis: A review. *Med Image Anal* [Internet]. Elsevier B.V.; 2009 Aug;13(4):634–49. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.media.2009.05.003>
- Majumdar S, Lin J, Link T, Millard J, Augat P, Ouyang X, et al. Fractal analysis of radiographs: Assessment of trabecular bone structure and prediction of elastic modulus and strength. *Med Phys*. 1999;26(7):1330–40.
- Mandelbrot BB. The fractal geometry of nature. 3rd ed. W. H. Freeman and Company; 1983.
- Nascimento HAR, Ramos ACA, Neves FS, De-Azevedo-Vaz SL, Freitas DQ. The ‘Sharpen’ filter improves the radiographic detection of vertical root fractures. *Int Endod J* [Internet]. 2015 May;48(5):428–34. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/iej.12331>
- Nejaim Y, Gomes AF, Silva EJNL da, Groppo FC, Haiter Neto F. The influence of number of line pairs in digital intra-oral radiography on the detection accuracy of horizontal root fractures. *Dent Traumatol*. 2016;32(3):180–4.

- Oliveira ML, Pedrosa EFNC, Cruz AD, Haiter-Neto F, Paula FJA, Watanabe PCA. Relationship between bone mineral density and trabecular bone pattern in postmenopausal osteoporotic Brazilian women. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2013 Nov 14;17(8):1847–53. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00784-012-0882-2>
- Pauwels R, Faruangsang T, Charoenkarn T, Ngonphloy N, Panmekiate S. Effect of exposure parameters and voxel size on bone structure analysis in CBCT. *Dentomaxillofac Radiol* [Internet]. 2015 Oct;44(8):20150078. Available from: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr.20150078>
- Rajkumar B, Haque S, Hrudehy W. Fractal Dimensions of Umbral and Penumbral Regions of Sunspots. *Sol Phys* [Internet]. Springer Science+Business Media B.V.; 2017 Nov;292(11):170. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11207-017-1184-2>
- Rueden CT, Schindelin J, Hiner MC, DeZonia BE, Walter AE, Arena ET, et al. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*. *BMC Bioinformatics*; 2017;18(1):1–26.
- Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise E, Kaynig V, Longair M, Pietzsch T, et al. Fiji: An open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods*. 2012;9(7):676–82.
- Sindeaux R, Figueiredo PT de S, de Melo NS, Guimarães ATB, Lazarte L, Pereira FB, et al. Fractal dimension and mandibular cortical width in normal and osteoporotic men and women. *Maturitas* [Internet]. Elsevier Ireland Ltd; 2014 Feb;77(2):142–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.maturitas.2013.10.011>
- Soğur E, Baksı BG, Gröndahl H-G, Şen BH. Pixel intensity and fractal dimension of periapical lesions visually indiscernible in radiographs. *J Endod* [Internet]. 2013 Jan;39(1):16–9. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0099239912009776>
- Suer B, Yaman Z, Buyuksarac B. Correlation of fractal dimension values with implant insertion torque and resonance frequency values at implant recipient sites. *Int J Oral Maxillofac Implants* [Internet]. 2016 Jan;31(1):55–62. Available from:

[http://quintpub.com/journals/omi/abstract.php?iss2_id=1350&article_id=15921&article=6&title=Correlation of Fractal Dimension Values with Implant Insertion Torque and Resonance Frequency Values at Implant Recipient Sites#.VqZ0_1Khwwg](http://quintpub.com/journals/omi/abstract.php?iss2_id=1350&article_id=15921&article=6&title=Correlation%20of%20Fractal%20Dimension%20Values%20with%20Implant%20Insertion%20Torque%20and%20Resonance%20Frequency%20Values%20at%20Implant%20Recipient%20Sites#.VqZ0_1Khwwg)

Wenzel A, Møystad A. Work flow with digital intraoral radiography: A systematic review. *Acta Odontol Scand*. 2010;68(2):106–14.

White SC, Pharoah MJ. *Oral radiology principles and interpretation*. 7th ed. Elsevier Inc.; 2015.

Apêndice 1: Metodologia detalhada

Este estudo foi realizado após a aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas (CAAE 88145018.1.0000.5418).

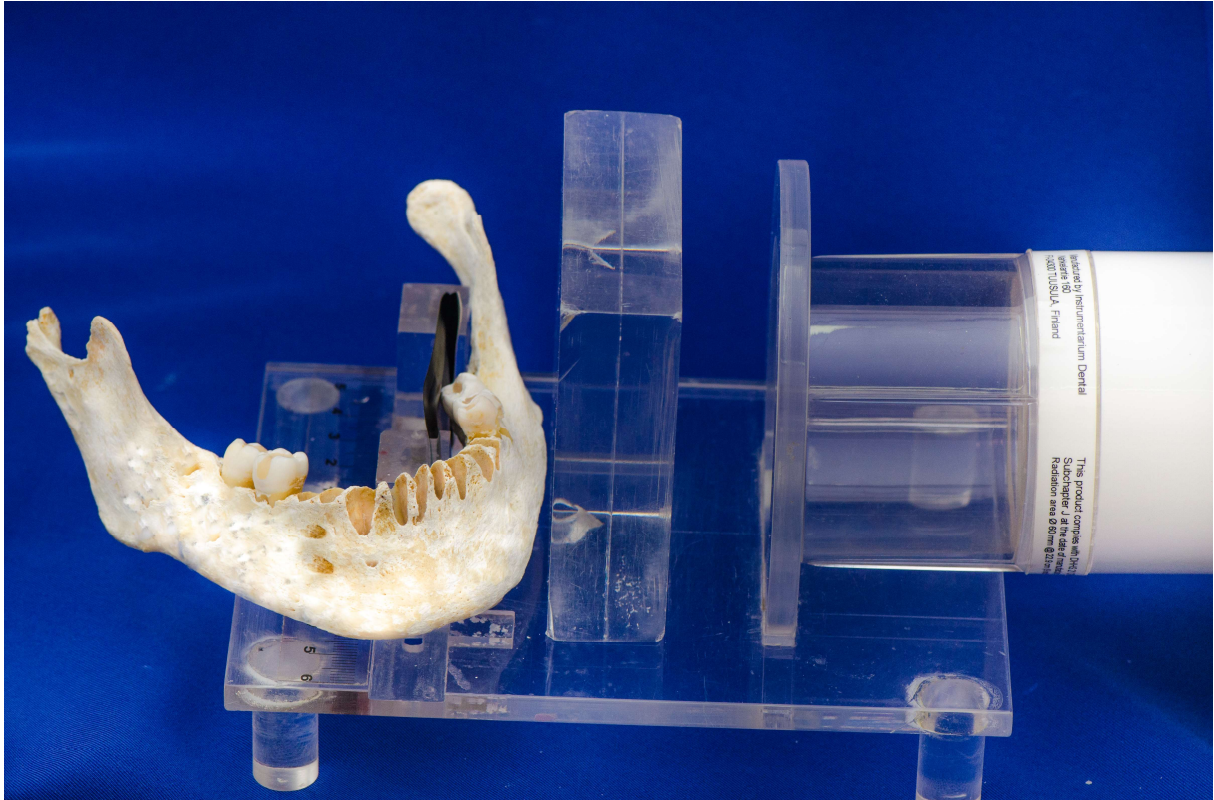
Aquisição das imagens

Dez mandíbulas humanas secas foram selecionadas para o presente estudo. Por meio da técnica do paralelismo, cinco repetidas radiografias periapicais foram realizadas em 20 regiões anatômicas de molares com auxílio de um dispositivo de acrílico que permitiu estabilizar a mandíbula e o receptor de imagem, e padronizar a posição do cilindro localizador do aparelho de raios X (Figura 1). Uma placa de acrílico com 2,4 cm de espessura foi colocada entre a fonte de radiação e a mandíbula para simular a atenuação dos tecidos moles.

Todas as aquisições radiográficas foram feitas usando a mesma placa de fósforo de tamanho 2, com 30x40 mm pertencente ao sistema radiográfico digital VistaScan (Dürr Dental, Beitigheim-Bissingen, Alemanha) e o aparelho radiográfico FOCUS (Instrumentarium, Tuusula, Finlândia), ajustado para operar a 70 kVp, 7 mA, com tempo de exposição de 0,16 s e distância foco-receptor de 30 cm.

Foram selecionadas, a partir do software DBSWIN (Dürr Dental), duas resoluções espaciais para o escaneamento da placa de fósforo: 1270 dpi (25 lp/mm) e 2000 dpi (40 lp/mm), resultando em 200 imagens radiográficas.

Figura 1 – Aquisição radiográfica utilizando o dispositivo de acrílico, placa de fósforo (VistaScan) na região de molares posteriores de uma mandíbula humana seca, placa de acrílico e o cabeçote do aparelho radiográfico (FOCUS)



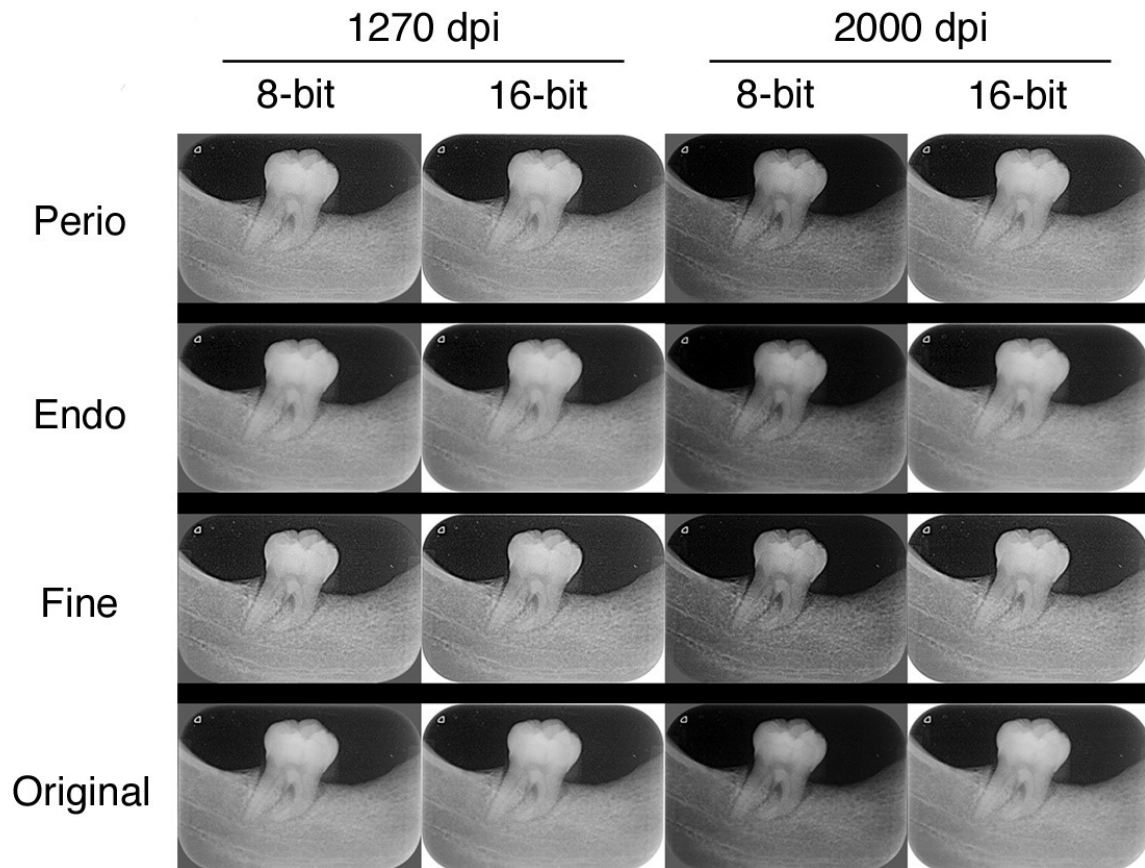
Aplicação de filtros de aprimoramento

Para cada imagem original, três filtros de aprimoramento de imagem foram aplicados: Fine, Endo e Perio, resultando em 800 imagens.

Exportação das imagens

Posteriormente, todas as imagens foram exportadas em formato TIFF sob duas profundidades de resolução de contraste (8 e 16 bits), gerando, assim, 16 condições de avaliação (Figura 2), o que resultou em um total de 1600 imagens radiográficas.

Figura 2 – Resultado final de imagens de uma repetição de uma mesma região anatômica com combinações das diferentes resoluções espacial e de contraste utilizadas, com as variações de condições de aplicação de filtros de aprimoramento



Análise da Dimensão fractal

Foi selecionada uma região de interesse (ROI) quadrangular de 240x240 pixels para as imagens de 1270 dpi e de 377x377 pixels para as imagens de 2000 dpi sobre o trabeculado ósseo alveolar, excluindo estruturas anatômicas como o espaço do ligamento periodontal, raízes dentárias ou canal mandibular. A diferença no tamanho da matriz de pixels de cada ROI entre as resoluções espaciais diferentes foi para proporcionar o mesmo tamanho em todas as imagens. A razão entre ambas as resoluções ($2000/1270=1,57$) foi utilizada para garantir a mesma localização e tamanho das ROIs nas imagens de diferentes resoluções espaciais. Após a determinação das ROIs, a função Macro do software de imagem de domínio público ImageJ versão 2.0.0, distribuição Fiji (Schindelin et al., 2012; Rueden et al., 2017) garantiu a sua reprodutibilidade em todas as imagens (Figura 3). Cada ROI,

após ter passado por binarização e delineamento (Figura 4), teve o valor de DF calculado por meio do software Image J e do plug-in FracLac (Karperien, 1999) através do método box-counting diferencial. O tamanho máximo da caixa foi 45% do tamanho da ROI, o tamanho mínimo da caixa foi dois e, a série de caixa foi linear (Baksi e Fidler, 2012) (Figura 5).

Figura 3 – Seleção e posicionamento das ROIs da mesma região anatômica em resoluções espaciais diferentes: (a) 1270dpi e (b) 2000 dpi

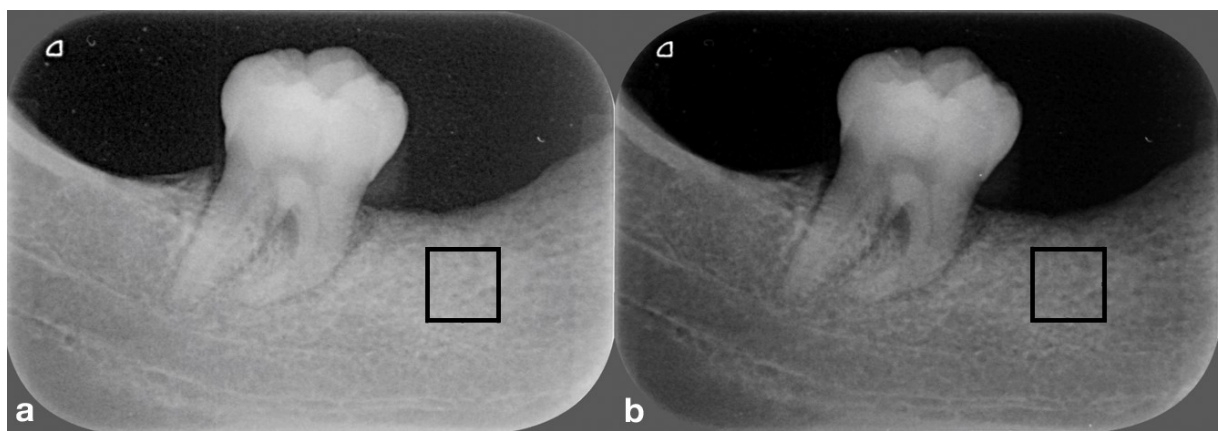
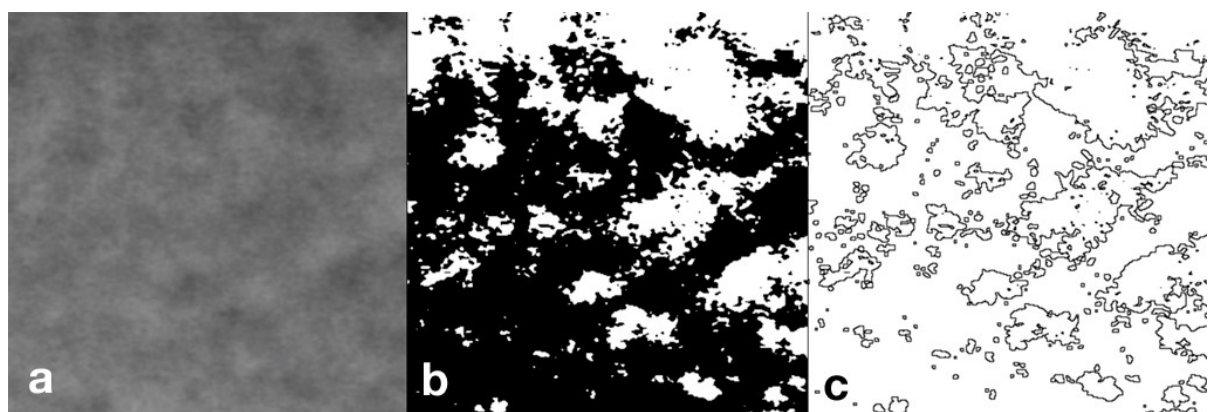
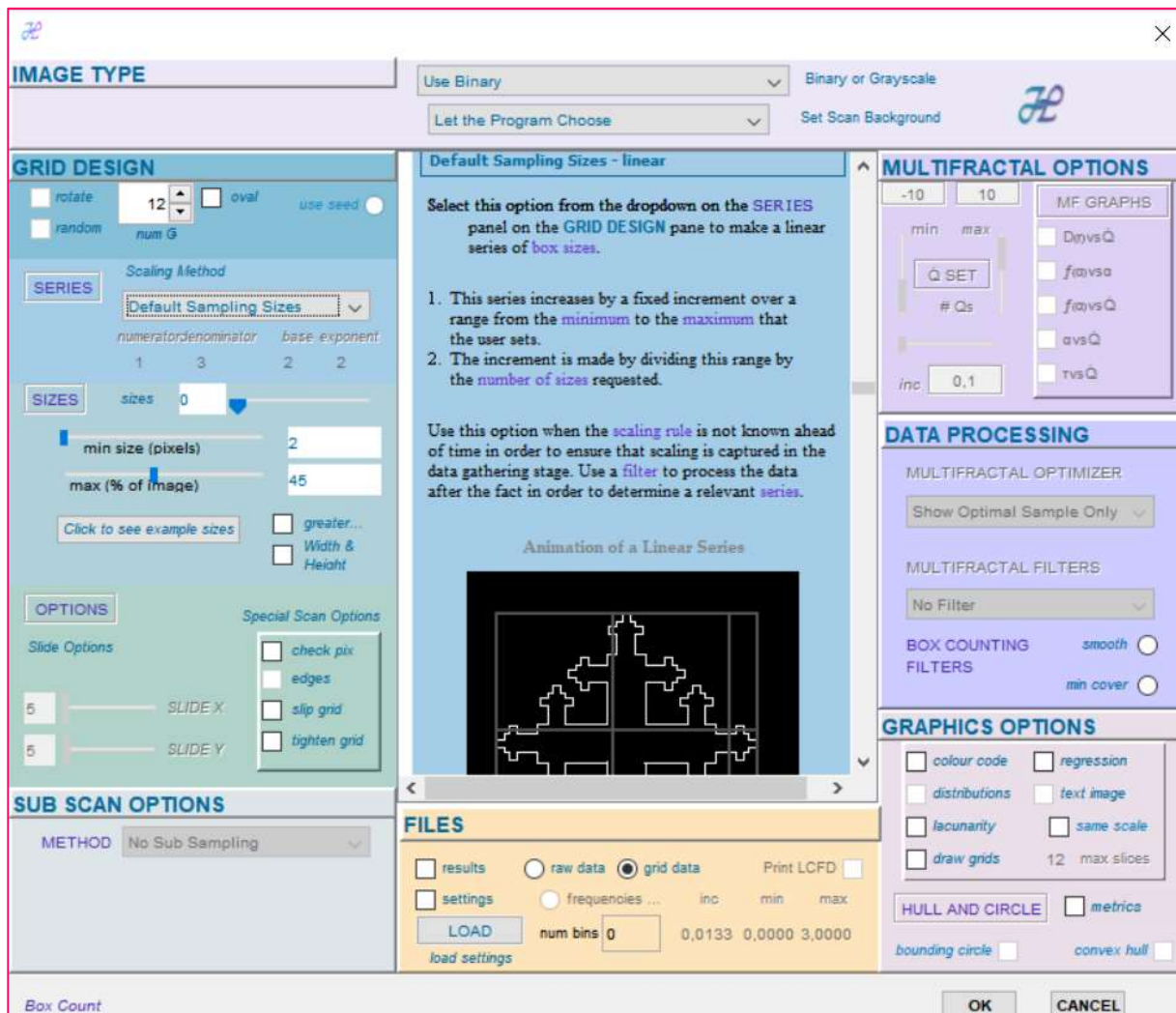


Figura 4 – Processo que cada imagem passou para que fosse calculada a DF: (A) Original; (B) Binarização; (C) Delineamento



Binarização: Converte a imagem para preto e branco calculando o limiar da área selecionada através da fórmula: $T = (B+O)/2$. Sendo T o limiar dos tons de cinza para a binarização, B a média dos tons de cinza dos pixels do fundo da imagem, e O a média dos tons de cinza dos pixels do objeto na imagem. Delineamento: Gera um contorno de um pixel no objeto na imagem binária (NIH ImageJ, 2018).

Figura 5 – Painele para seleção dos parâmetros para calcular a DF no plugin FracLac

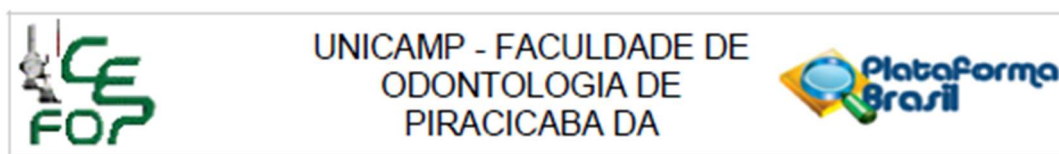


Análise estatística

Utilizando o software SPSS versão 24.0 (IBM Inc., Chicago, IL, EUA) foi realizado o teste ANOVA multifatorial com post-hoc de Tukey sobre os valores de DF das ROIs das imagens adquiridas para avaliar a possível influência da resolução espacial, resolução de contraste e filtro de aprimoramento nos valores de DF. O nível de significância adotado foi de 5% ($\alpha=0.05$).

ANEXOS

Anexo 1: Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (FOPUNICAMP)



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação de fatores que podem influenciar a análise de dimensão fractal

Pesquisador: Nicolly Oliveira Santos

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 88145018.1.0000.5418

Instituição Proponente: Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Unicamp

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.737.003

Apresentação do Projeto:

Transcrição editada do conteúdo do registro do protocolo e dos arquivos anexados à Plataforma Brasil

Delineamento da pesquisa: Trata-se de estudo laboratorial, analítico, observacional, transversal, que envolverá 10 mandíbulas humanas maceradas, obtidas junto aos arquivos da área de Radiologia Odontológica da FOP-UNICAMP, que serão examinadas por meio de radiografias periapicais digitais em vários parâmetros de exposição/aquisição de imagem e analisada por meio da dimensão fractal (DF).

Serão incluídas na amostra mandíbulas íntegras. Serão excluídas da amostra mandíbulas com variações anatômicas ou qualquer alteração morfológica causada por patologias ósseas.

METODOLOGIA:

Amostra: Para o desenvolvimento deste estudo serão selecionadas dez mandíbulas humanas secas que serão radiografadas.

Aquisições radiográficas: Serão feitas cinco repetidas radiografias periapicais de 20 regiões anatômicas utilizando o sistema radiográfico digital Vista Scan (Dürr Dental, Beitigheim-Bissingen, Alemanha). Todas as imagens serão adquiridas pela mesma placa de fósforo e pelo aparelho radiográfico Focus (Instrumentarium, Tuusula, Finlândia), ajustado para operar a 70 kV, 7 mA, tempo de exposição de 0,18 s e distância foco-receptor de imagem de 300 mm. As imagens serão escaneadas sob duas resoluções espaciais (1270 dpi e 2000 dpi) e então se sujeitarão a quatro

Endereço: Av. Limeira 901 Caixa Postal 52

Bairro: Areião

CEP: 13.414-903

UF: SP

Município: PIRACICABA

Telefone: (19)2106-5349

Fax: (19)2106-5349

E-mail: cep@fop.unicamp.br



UNICAMP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DE
PIRACICABA DA



Continuação do Parecer: 2.737.003

condições de aplicação de filtro de aprimoramento (sem filtro, fine, endo e perio). Posteriormente, todas as imagens serão exportadas em TIFF sob dois níveis de resolução de contraste (8 e 16 bits), o que resultará em um total final de 1600 imagens radiográficas.

Avaliação das Imagens: Será selecionado uma região de interesse (ROI) circular de 50 mm de diâmetro sobre o trabeculado ósseo periapical, sendo que as ROIs da mesma região anatômica serão posicionadas no mesmo lugar em todas imagens. Cada ROI terá o valor de DF calculado por meio do software de imagem de domínio público NIH Image J versão 1.50i (National Institutes of Health, Bethesda, EUA) através do método box-counting, seguindo metodologia previamente publicada. Todas as imagens radiográficas serão avaliadas pelo pesquisador responsável em um monitor LCD de 24,1 polegadas (MDCR-2124, Barco, Kortrijk, Belgium) com uma resolução de 1920 x 1200 pixels em um ambiente tranquilo e com baixa iluminação. Como forma de avaliar a reprodutibilidade das avaliações, 25% das imagens serão reavaliadas para DF. Os dados serão registrados e tabulados no programa Excel 2016 (Microsoft Corporation, USA).

Análise estatística dos dados: Análises estatísticas serão feitas para avaliar a possível influência da resolução de contraste, resolução espacial e de filtro de aprimoramento nos valores de DF. Para a análise estatística, será utilizado o programa SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EUA). As análises adotarão um nível de significância de 5%. Para avaliar a reprodutibilidade das avaliações será utilizado o índice de correlação intraclass (ICC).

A pesquisa será realizada na Área de Radiologia Odontológica da FOP-UNICAMP.

O cronograma proposto para a pesquisa no projeto informa que serão necessários 12 meses para conclusão do estudo. O cronograma descrito na PB indica que a pesquisa será iniciada em 16/04/2018 e será concluída em 22/04/2019, em cerca de 12 meses.

A lista de pesquisadores citada na capa do protocolo inclui Nicolly Oliveira Santos (Cirurgiã-Dentista, Mestranda no PPG em Radiologia Odontologia da FOP-UNICAMP, Pesquisadora responsável), Mariane Michels (Cirurgiã-Dentista, Doutoranda no PPG em Radiologia Odontologia da FOP-UNICAMP, Pesquisadora Participante), Deborah Queiroz de Freitas (Cirurgiã-Dentista, Docente da área de Radiologia Odontologia da FOP-UNICAMP, Pesquisadora Participante), Francisco Haiter Neto (Cirurgião-Dentista, Docente Titular da área de Radiologia Odontologia da FOP-UNICAMP, Pesquisador Participante), Matheus Lima de Oliveira Neto (Cirurgião-Dentista, Docente da área de Radiologia Odontologia da FOP-UNICAMP, Pesquisador Participante), o que é confirmado na declaração dos pesquisadores e na PB.

Pendência 1 (atendida em 26/06/18): Os pesquisadores informaram quanto à faixa etária estimada para os indivíduos que "Baseado nas características anatomo-topográficas, como comprimento do

Endereço: Av. Limeira 901 Caixa Postal 52
Bairro: Arelão CEP: 13.414-903
UF: SP Município: PIRACICABA
Telefone: (19)2106-5349 Fax: (19)2106-5349 E-mail: cep@fop.unicamp.br



UNICAMP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DE
PIRACICABA DA



Continuação do Parecer: 2.737.003

arco mandibular, tamanho e morfologia das cabeças da mandíbula e presença de alvéolos dentários referentes aos segundos molares permanentes, é possível estimar que essa mandíbula pertence a um indivíduo adulto”.

Objetivo da Pesquisa:

HIPÓTESE: A resolução espacial, a resolução de contraste e filtros de aprimoramento de imagem interferem no valor de dimensão fractal.

OBJETIVO PRIMÁRIO: Avaliar a influência da resolução espacial, da resolução de contraste e de filtro de aprimoramento no valor de dimensão fractal.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Quanto aos riscos e desconfortos previstos para os participantes, os pesquisadores informaram que “a pesquisa não contará com voluntários ou avaliadores, o pesquisador responsável só terá acesso às imagens radiográficas de mandíbulas secas, sendo assim, não haverá riscos ou desconfortos devido a pesquisa”.

Quanto aos benefícios diretos previstos para os participantes, os pesquisadores informaram que “a presente pesquisa não fará uso de voluntários, logo não haverá benefícios esperados nesse sentido. Os pesquisadores, terão os benefícios advindos dos resultados desta pesquisa”.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Quanto ao modo de abordagem dos participantes da pesquisa para a obtenção do TCLE os pesquisadores informaram que “para a realização da pesquisa “Avaliação de fatores que podem influenciar a análise de dimensão fractal”, tendo como pesquisadora responsável Nicolly Oliveira Santos, serão utilizadas dez mandíbulas, que se encontram na Área de Radiologia Odontológica da FOP/UNICAMP por tempo indeterminado e de origem desconhecida. Estas peças anatômicas pertencem à Área de Radiologia e são utilizadas para demonstrações de técnicas radiográficas aos alunos de graduação e pós-graduação. Atualmente, a área de Radiologia Odontológica juntamente com o biobanco da área de Anatomia da FOP/UNICAMP está catalogando e regularizando estas peças anatômicas. Os pesquisadores deste estudo têm ciência que este não é o cenário ideal para a obtenção de material biológico, contudo, concordam em adotar todas as medidas que lhes cabem para preservar a ética em pesquisa ao longo desse estudo, bem como, considerar a aplicação de TCLE em estudos futuros”. Também informaram que “dispensa-se a aplicação do TCLE, pois a pesquisa fará uso de material que se encontra na Área de Radiologia Odontológica da FOP/UNICAMP por tempo indeterminado e de origem desconhecida. Atualmente, a área de Radiologia Odontológica juntamente com o biobanco da área de Anatomia da FOP/UNICAMP está

Endereço: Av. Limeira 901 Caixa Postal 52
 Bairro: Areião CEP: 13.414-903
 UF: SP Município: PIRACICABA
 Telefone: (19)2106-5349 Fax: (19)2106-5349 E-mail: cep@fop.unicamp.br



UNICAMP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DE
PIRACICABA DA



Continuação do Parecer: 2.737.003

catalogando e regularizando estas peças anatômicas. Dispensa-se, ainda, a aplicação do TCLE para avaliadores, já que o pesquisador responsável será o próprio avaliador da pesquisa".

Quanto à justificativa para participação de grupos vulneráveis os pesquisadores informaram que "a pesquisa utilizará mandíbulas secas, que se encontra na Área de Radiologia Odontológica da FOP/UNICAMP e que está sendo catalogada e regularizada pelo biobanco da área de Anatomia da FOP/UNICAMP, por isso não caracteriza a inclusão de grupo vulnerável neste estudo".

Quanto às medidas para proteção ou minimização dos desconfortos e riscos previsíveis os pesquisadores informaram que "o desconforto relacionado à fadiga visual do pesquisador será minimizado ao avaliar 100 imagens radiográficas por dia. Por se tratar de um método de análise objetiva, o pesquisador considera desconforto visual mínimo durante a avaliação".

Quanto às medidas de proteção à confidencialidade os pesquisadores informaram que "a presente pesquisa fará uso de mandíbulas não identificadas, o que impossibilita que dados confidenciais sejam gerados. Ainda, os pesquisadores divulgarão somente os resultados obtidos que sejam fundamentais para a conclusão".

Quanto à previsão de ressarcimento de gastos os pesquisadores informaram que "a presente pesquisa contará com materiais pertencentes à Área de Radiologia Odontológica da FOP/UNICAMP e por mandíbulas que se encontram na Área de Radiologia Odontológica da FOP/UNICAMP por tempo indeterminado e de origem desconhecida. Atualmente, a área de Radiologia Odontológica juntamente com o biobanco da área de Anatomia da FOP/UNICAMP está catalogando e regularizando estas peças anatômicas. Por isso, não há previsão de gastos para os sujeitos da pesquisa, e, desta forma, não há previsão de ressarcimento".

Quanto à previsão de indenização e/ou reparação de danos os pesquisadores informaram que "a presente pesquisa fará uso de imagens radiográficas e de mandíbulas secas, ou seja, não há risco previsível e, consequentemente, não há previsão de indenização e/ou reparação de dano".

Quanto aos critérios para suspender ou encerrar a pesquisa os pesquisadores informaram que "não há previsão de suspensão da pesquisa, sendo a mesma encerrada quando as informações desejadas forem obtidas".

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A FR foi apresentada preenchida (10 participantes, sem patrocinador principal) e assinada pela pesquisadora responsável (Dra Nicolly Oliveira Santos) e pelo Diretor da FOP-UNICAMP (Dr. Guilherme Elias Pessanha Henriques).

A capa do projeto cita os dados solicitados pelo CEP-FOP.

A declaração dos pesquisadores está adequadamente preenchida e assinada.

Endereço: Av. Limeira 901 Caixa Postal 52
Bairro: Arelão CEP: 13.414-903
UF: SP Município: PIRACICABA
Telefone: (19)2106-5349 Fax: (19)2106-5349 E-mail: cep@fop.unicamp.br



UNICAMP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DE
PIRACICABA DA



Continuação do Parecer: 2.737.003

A declaração da instituição está adequadamente preenchida e assinada.

Foi apresentada a autorização de acesso aos arquivos da área de Radiologia Odontológica da FOP-UNICAMP, para uso de material biológico (mandíbulas maceradas). Essas amostras estão em processo de regularização em conjunto com o registro do Biobanco da área de Anatomia da FOP-UNICAMP. A autorização foi assinada pelo Prof. Dr. Matheus Lima de Oliveira.

Foi apresentada a justificativa para não aplicação do TCLE, como explicado acima.

O orçamento descrito na PB informa que a pesquisa terá custo de R\$ 0,0.

A pesquisa foi classificada na Grande Área 4 (Ciências da Saúde) e tem como título público "Avaliação de fatores que podem influenciar a análise de dimensão fractal". A pesquisa não foi classificada nas áreas temáticas especiais. A Instituição proponente da pesquisa é a Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp e não foi listada Instituição Coparticipante.

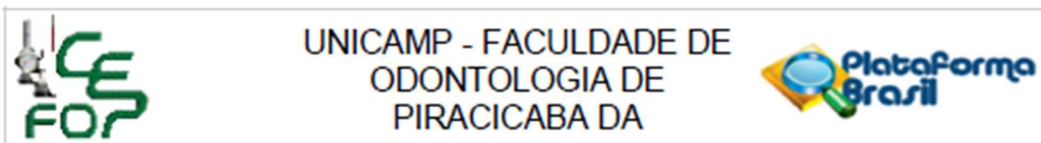
Pendência 2 (atendida em 26/06/18): Foi apresentada solicitação de registro de biorrepositório, seu regulamento; justificando a necessidade de estabelecimento do biorrepositório, informando que a pesquisadora Nicolly Oliveira Santos será a responsável direta pela guarda e manipulação no arquivo, informando onde o material será estocado e como, informando que serão estocadas dez mandíbulas, que as amostras não serão destruídas durante o experimento e que serão devolvidas aos arquivos da área de Radiologia ao final dos experimentos, e que ao repositório será mantido até 22/04/2019, de acordo com o cronograma do protocolo.

Recomendações:

As recomendações a seguir não são pendências, não havendo necessidade de resposta às mesmas:

RECOMENDAÇÃO 1- Após a aprovação do protocolo de pesquisa os pesquisadores devem atentar para a necessidade de envio de relatórios parciais de atividade (no mínimo um a cada 12 meses) e do relatório final de atividade (ao término da pesquisa). **RECOMENDAÇÃO 2-** Reforça-se a necessidade do registro, na forma de Biorrepositórios ou Biobancos, dos materiais biológicos coletados que venham a ser estocados para uso futuro, tanto no projeto quanto na declaração dos pesquisadores e de registrar a intenção no TCLE que será assinado pelo participante. **RECOMENDAÇÃO 3-** Os pesquisadores devem atentar para a necessidade de aplicação de TCLE para coleta de amostras a serem estocadas em Biobancos e Biorrepositórios e para a necessidade de aplicação de novo TCLE quando da realização de novas pesquisas com o material estocado. **RECOMENDAÇÃO 4-** Pesquisas com dentes doados por profissionais de saúde ainda são toleradas em hipótese pelo CEP-FOP, mas os pesquisadores devem estar cientes de que esta solução dista do ideal ético de consulta direta ao participante por meio de TCLE específico da pesquisa ou da obtenção dos dentes a partir de um Biobanco de dentes e que estas últimas situações deveriam ser

Endereço: Av. Limeira 901 Caixa Postal 52
 Bairro: Areião CEP: 13.414-903
 UF: SP Município: PIRACICABA
 Telefone: (19)2106-5349 Fax: (19)2106-5349 E-mail: cep@fop.unicamp.br



Continuação do Parecer: 2.737.003

escolhidas em substituição à primeira. RECOMENDAÇÃO 5- Destaca-se que o parecer consubstanciado é o documento oficial de aprovação do sistema CEP/CONEP e os certificados emitidos pela secretaria do CEP-FOP, a pedido, após a aprovação final do protocolo, só têm valor simbólico e devem ser evitados. RECOMENDAÇÃO 6- Intercorrências e eventos adversos devem ser relatados ao CEP-FOP por meio da PB. RECOMENDAÇÃO 7- Eventuais mudanças pretendidas no protocolo devem ser comunicadas como emendas ao CEP por meio da PB. RECOMENDAÇÃO 8- O parecer do CEP-FOP é fortemente baseado nos textos do protocolo encaminhado pelos pesquisadores e pode conter inclusive trechos transcritos literalmente do projeto ou de outras partes do protocolo. Trata-se, ainda assim, de uma interpretação do protocolo. Caso algum trecho do parecer não corresponda ao que efetivamente foi proposto no protocolo, os pesquisadores devem se manifestar sobre esta discrepância. A não manifestação dos pesquisadores será interpretada como concordância com a fidedignidade do texto do parecer no tocante à proposta do protocolo.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há mais pendências por resolver.

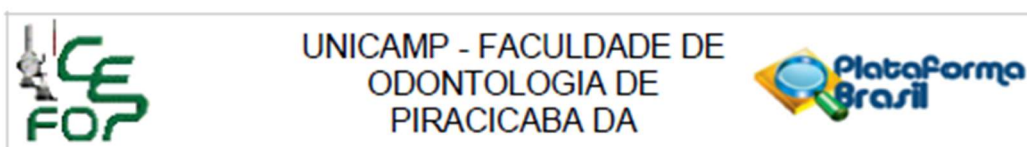
Considerações Finais a critério do CEP:

Parecer de aprovação de Protocolo emitido "ad referendum" conforme autorização do Comitê na reunião de 21/02/2018. Será submetido para homologação na reunião de 04/07/2018.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1114192.pdf	25/06/2018 17:41:59		Aceito
Outros	Regulamento_de_Biorrepositorio.pdf	16/05/2018 16:30:23	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Outros	Carta_resposta_ao_parecer_2645947.pdf	16/05/2018 16:28:55	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Outros	CEPCompleto.pdf	22/04/2018 17:30:24	jacks jorge junior	Aceito
Outros	55Autarq.pdf	20/04/2018 16:20:02	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	54AltInfra.pdf	20/04/2018 16:17:45	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Declaração de Instituição e	52DeclInst.pdf	20/04/2018 16:16:46	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito

Endereço: Av. Limeira 901 Caixa Postal 52
 Bairro: Areião CEP: 13.414-903
 UF: SP Município: PIRACICABA
 Telefone: (19)2106-5349 Fax: (19)2106-5349 E-mail: cep@fop.unicamp.br



Continuação do Parecer: 2.737.003

Infraestrutura	52Declnst.pdf	20/04/2018 16:16:46	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Declaração de Pesquisadores	51DecPesq.pdf	20/04/2018 16:16:24	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	4TCLE.pdf	20/04/2018 16:16:00	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Outros	4Comentarios.pdf	20/04/2018 16:15:36	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	2Projeto.pdf	20/04/2018 16:13:11	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito
Folha de Rosto	1Folhaderosto.pdf	20/04/2018 16:12:25	NICOLLY OLIVEIRA SANTOS	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PIRACICABA, 26 de Junho de 2018

Assinado por:
jacks jorge junior
(Coordenador)

Endereço: Av. Limeira 901 Caixa Postal 52
 Bairro: Areião CEP: 13.414-903
 UF: SP Município: PIRACICABA
 Telefone: (19)2106-5349 Fax: (19)2106-5349 E-mail: cep@fop.unicamp.br

Anexo 2: Relatório de originalidade pelo software Turnitin

Nicolly			
RELATÓRIO DE ORIGINALIDADE			
26%	20%	24%	10%
ÍNDICE DE SEMELHANÇA	FONTES DA INTERNET	PUBLICAÇÕES	DOCUMENTOS DOS ALUNOS
FONTES PRIMÁRIAS			
1	www.birpublications.org Fonte da Internet	2%	
2	repositorio.unesp.br Fonte da Internet	1%	
3	jos.dent.nihon-u.ac.jp Fonte da Internet	1%	
4	Jun-Ge Cheng. "Detection accuracy of proximal caries by phosphor plate and cone-beam computerized tomography images scanned with different resolutions", Clinical Oral Investigations, 07/30/2011 Publicação	1%	
5	Kositbowornchai, Suwadee, Chotikpanich Sukanya, Tangkittikasem Tidarat, and Thongsombat Chanoggarn. "Caries detection under composite restorations by laser fluorescence and digital radiography", Clinical Oral Investigations, 2013. Publicação	1%	