

UM MODELO BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL PARA DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE ANOMALIAS DENTÁRIAS EM IMAGENS DE ORTOPANTOMOGRÁFIA

Gil Jader Oliveira da Silva¹, Valter de Senna² e Luciano Rebouças de Oliveira³

¹Doutorando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do SENAI CIMATEC, E-mail: gil.jader@gmail.com;

²Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, E-mail: valter.senna@gmail.com;

³Professor Adjunto da Universidade Federal da Bahia, E-mail: luciano.reboucas@gmail.com.

RESUMO

Na Odontologia, a Ortopantomografia (raio-X panorâmico) é um exame complementar de diagnóstico que possibilita a visualização de todos os dentes em uma única imagem, porém mostrando também detalhes da área nasal e maxilares, apresentando excesso de informação não utilizável que dificulta a avaliação individual dos dentes. O objetivo do trabalho aqui proposto é desenvolver um modelo baseado em Visão Computacional que possibilite dividir o raio-X (panorâmico) em suas unidades significativas (dentes), utilizando métodos de segmentação de imagens. Em seguida, a partir dos resultados obtidos com a segmentação das imagens de ortopantomografia, pretende-se desenvolver uma ferramenta computacional capaz de reconhecer automaticamente anomalias dentárias em imagens de raio-X panorâmico. Para alcançar o objetivo proposto, a metodologia comumente utilizada em pesquisas da área de Visão Computacional é adotada, realizando análise qualitativa durante as primeiras etapas que são a coleta e anotação de datasets (catalogando as imagens que serão analisadas), pré-processamento (Utilizando técnicas para preparar as imagens para as etapas subsequentes) e extração das características (Algoritmos são utilizados para extração das informações que caracterizam os objetos de interesse). Por fim, será realizada análise quantitativa e experimental durante as etapas de segmentação e classificação das imagens, onde são novamente utilizados algoritmos responsáveis por separar os conjuntos de características extraídas, entre aquelas mais prováveis de pertencerem ao objeto de interesse e aquelas menos prováveis. Finalizando com a análise dos resultados a partir da utilização de gráficos de medição de desempenho. Portanto, o intuito da presente pesquisa é que o modelo proposto (ainda em fase de desenvolvimento) possa auxiliar os profissionais da área Odontológica, contribuindo para análise de possíveis anomalias dentárias e produzindo informações que servirão de base para uma segunda opinião ao diagnóstico médico dentário.

Palavras-Chaves: *Segmentação; Visão Computacional; raio-X panorâmico; Extração de características; Detecção automática de anomalias dentárias.*

ABSTRACT

In dentistry, the Orthopantomography (panoramic X-ray) is a complementary diagnostic test that enables the visualization of all the teeth in a single image, but also showing details of the nasal and jaw area, with excess unusable information it difficult to assess individual teeth. The objective of here proposed work is to develop a model based on Computer Vision that allows split the X-ray (panoramic) on their significant units (teeth) using image segmentation methods. Then, from the results obtained from the segmentation of panoramic radiography for images, it is intended to develop a computational tool capable of automatically recognizing anomalies in dental panoramic X-ray images. To achieve the proposed objective, the methodology commonly used in research of Computer Vision area is adopted, performing qualitative analysis during the early stages are the collection and annotation datasets (cataloging the images to be analyzed), preprocessing (Using techniques to prepare the images for subsequent steps) and feature extraction (Algorithms are used for extraction of information that characterize the objects of interest). Finally, it will be held quantitative and experimental analysis through the steps of segmentation and classification of images, which are again used algorithms responsible for separate sets of extracted features, among those most likely to belong to the object of interest and those less likely. Ending with the analysis of the results from the use of performance measurement charts. Therefore, the aim of this research is that the model (still under development) can assist Dental professionals, contributing to analysis of potential dental anomalies and producing information as a basis for a second opinion to the dental medical diagnosis.

Keywords: *Segmentation; Computer Vision; Panoramic x-ray; Feature extraction; Automatic detection of dental anomalies.*

1. INTRODUÇÃO

Na Odontologia os raios-X estão divididos em duas categorias: **Exames radiográficos intraorais**, são técnicas radiográficas efetuadas com a película posicionada na cavidade bucal (a imagem de raio-X é obtida no interior da boca do paciente) e os **Exames radiográficos extraorais**, são as técnicas nas quais o paciente fica posicionado entre o filme radiográfico e a fonte de raios-X (a imagem de raio-X é obtida no exterior da boca do paciente).

A partir do exame radiológico (raio-X), o odontólogo pode analisar toda a estrutura dentária e constituir (caso necessário) o plano de tratamento do paciente. Dentre os exames radiológicos existentes na Odontologia destaca-se a Ortopantomografia (também conhecido como raio-X panorâmico), que oferece uma vista panorâmica do maxilar superior e inferior, todos os dentes e as articulações entre a mandíbula e o crânio. Entretanto, devido a inexistência de recursos automatizados adequados para auxiliar na análise das imagens de raio-X dentais, a avaliação desses exames ocorre de maneira empírica, isto é, valendo-se apenas da experiência do dentista, tornando a mensuração dos resultados inteiramente sob a percepção visual desse profissional. Se tratando das radiografias panorâmicas, a dificuldade é ainda maior, pelo fato

dessas imagens não serem restritas apenas a uma parte isolada dos dentes como ocorre nas imagens radiográficas intraorais, pois além dos dentes, elas mostram regiões temporomandibulares (articulações entre os maxilares e o crânio) e outros detalhes originados pelos ossos das áreas nasais e da face. Outros detalhes existentes nas radiografias panorâmicas e que dificultam a análise destas imagens são: variações dos dentes de paciente para paciente, artefatos usados para restaurações e próteses, as baixas qualidades das imagens causadas por algumas condições, tais como o ruído, baixo contraste, homogeneidade nas regiões próximas aos objetos de interesse, espaço existente por um dente faltando, e limitação dos métodos de aquisição, o que resulta no desenvolvimento mal sucedido de ferramentas computacionais automatizadas para auxílio ao diagnóstico médico dentário.

Partindo do cenário apresentado anteriormente e falando dos motivos que levaram a presente pesquisa, foram formados os seguintes questionamentos: É possível extrair características de imagens radiográficas (raio-X panorâmico) e dividir a imagem em suas unidades significativas (dentes) para facilitar a sua análise? Como reconhecer de forma automática anomalias dentárias (alterações dos dentes causadas por fatores locais, sistêmicos ou hereditários) em imagens de raio-X panorâmico?

Com essas questões postas, a presente pesquisa tem a hipótese de que por meio da utilização de métodos de segmentação de imagens, pode-se dividir as imagens radiográficas (raio-X panorâmico) em suas unidades significativas (dentes), de modo que, possibilite facilitar a sua análise. O processo de decompor uma imagem nas suas partes constituintes designa-se por segmentação (divisão em segmentos). Em geral, segmentação completamente autônoma é uma das tarefas mais difíceis de serem realizadas na área de Visão Computacional, permanecendo como um ativo campo de pesquisa. Segmentação se refere ao processo de dividir uma imagem digital em múltiplas regiões (conjunto de *pixels*) ou objetos, com o objetivo de simplificar e/ou mudar a representação de uma imagem para facilitar a sua análise e possibilitar reconhecer de forma automática objetos em imagens. Sendo assim, o objetivo do trabalho aqui proposto consiste em utilizar métodos de segmentação para identificar corretamente, em imagens de raio-X panorâmico, cada dente individualmente, ou ainda, próteses, implantes, dentes quebrados ou restaurados, de modo que ocorra a separação destes objetos em relação às outras partes da imagem (detalhes da área nasal e maxilares), separando os dentes dos não dentes. Em seguida, de posse dos resultados obtidos com a segmentação, desenvolver uma ferramenta computacional para reconhecer de forma automática anomalias dentárias em imagens de ortopantomografia.

Seguindo o contexto apresentado no parágrafo anterior, os objetivos específicos do trabalho aqui proposto são:

Reconhecer de forma automática cada dente individualmente em imagens de raio-X (panorâmico), utilizando métodos de segmentação de imagens;

Treinar um classificador para detectar de forma automática anomalias dentárias nas imagens de ortopantomografia;

Validar os resultados alcançados a partir da utilização de métricas e gráficos de medição de desempenho existentes na área de Visão Computacional e por meio de testes realizados em conjunto com profissional da área de Medicina Dentária.

A principal contribuição da presente pesquisa envolverá a construção de um modelo baseado em Visão Computacional para detecção automática de anomalias dentárias em imagens de ortopantomografia. Assim, espera-se que os benefícios aos pacientes a partir dos resultados alcançados pelo presente estudo, sejam diagnósticos mais precisos por meio de uma segunda opinião, por um sistema especialista, dada ao odontologista.

2. METODOLOGIA

A pesquisa proposta encontra-se em fase de desenvolvimento. A metodologia comumente utilizada em pesquisas da área de Visão Computacional foi adotada para realização do presente estudo, desenvolvendo análise **qualitativa** durante as primeiras etapas e atualmente, está sendo realizada a análise **quantitativa e experimental** a partir da fase de segmentação (etapa atual da presente pesquisa). Após finalização da etapa de segmentação será dada continuidade a partir classificação e reconhecimento de padrões nas imagens, onde serão utilizados algoritmos responsáveis por separar os conjuntos de características extraídas, entre aquelas mais prováveis de pertencerem aos objetos de interesse e aquelas menos prováveis. Finalizando, será realizado a análise dos resultados. As etapas do trabalho aqui proposto são descritas nas próximas seções.

2.1. Aquisição / Coleta de imagens do *Dataset*

Na primeira etapa, coleta-se um conjunto de imagens referente ao problema (fenômeno visual) que o sistema se propõe a solucionar. Neste sentido, a presente pesquisa formou um *dataset* com 10000 imagens de raio-X panorâmico. As imagens possuem significativas variações estruturais em relação aos dentes, no que se refere ao número de dentes, existência de restaurações, existência de implantes, existência de aparelhos, ou a existência de dentes supranumerários (referente a pacientes com mais de 32 dentes). Além de variarem em relação ao tamanho da boca e das maxilas e mandíbulas. Todas as imagens foram obtidas pelo ortopantomógrafo (aparelho usado para geração das imagens de ortopantomografia) de modelo: ORTHOPHOS XG 5 / XG 5 DS / Ceph, fabricado pela empresa *Sirona Dental Systems GmbH*. As radiografias possuem dimensões 2440 X 1292 *pixels*. As imagens foram capturadas em níveis de cinza e estão no espaço de cor RGB (*Red, Green, Blue*). Todas as radiografias utilizadas nesta pesquisa foram obtidas no Centro de Diagnóstico por Imagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. O uso das radiografias na pesquisa foi autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP), através do parecer de número 646.050 aprovado em 13/05/2014.

2.1.1. Categorização das imagens do *dataset*

As imagens do *dataset* do presente trabalho foram distribuídas em 10 categorias. Apenas foram categorizadas as imagens que também foram anotadas. **As imagens foram nomeadas utilizando números inteiros, em ordem sequencial por categorial visando a não identificação do paciente no referido estudo.** O processo de categorização das imagens foi realizado de forma manual, selecionado imagem a imagem individualmente, contando dente a dente e verificando as suas características estruturais. A Tabela 1 apresenta os resultados das imagens que foram categorizadas do *dataset* do trabalho aqui proposto.

Tabela 1. Classificação das imagens do *dataset*. Fonte: Os Autores.

Nº	Nome da Categoria	Imagens	M*
1	Imagens com todos dentes contendo dentes com restauração e com aparelho	73	32
2	Imagens com todos dentes contendo dentes com restauração e sem aparelho	220	32
3	Imagens com todos dentes contendo dentes sem restauração e com aparelho	45	32
4	Imagens com todos dentes contendo dentes sem restauração e sem aparelho	140	32
5	Imagens contendo IMPLANTE	120	18
6	Imagens contendo mais de 32 dentes	170	37
7	Imagens faltando dentes contendo dentes com restauração e com aparelho	115	27
8	Imagens faltando dentes contendo dentes com restauração e sem aparelho	457	29
9	Imagens faltando dentes contendo dentes sem restauração e com aparelho	45	28
10	Imagens faltando dentes contendo dentes sem restauração e sem aparelho	115	28
Total Geral		1500	

M=Média de dentes por categoria

2.1.2. Anotação das imagens do *dataset*

As imagens do *dataset* do presente trabalho foram anotadas pela técnica conhecida como máscara binária que preservam a forma dos objetos de interesse. O processo de anotação por máscara binária resulta em uma matriz binária, onde os *pixels* brancos correspondem aos objetos de interesse, enquanto que todo o restante da imagem é representado por *pixels* pretos (ou vice-versa). A realização da anotação de imagens, também é conhecido como processo de definição do *ground truth*, pois corresponde ao resultado ideal que se deseja obter de forma automática pelos algoritmos de segmentação, ou seja, a imagem anotada é comparada com os resultados dos algoritmos de segmentação, desse modo, avaliando o desempenho de cada um deles. A presente pesquisa realizou anotações dos dentes de 1500 imagens do *dataset* do trabalho aqui proposto. As imagens anotadas foram distribuídas entre as categorias do *dataset* utilizando números inteiros em ordem sequencial equivalente aos nomes das imagens originais.

2.2. Pré-processamento de Imagem

Técnicas de pré-processamento visam melhor preparar a imagem para etapas subsequentes. Pode-se, por exemplo, realçar ou suavizar determinados aspectos da imagem para facilitar o processamento posterior. A principal operação de pré-processamento realizada com as imagens do *dataset* da presente pesquisa, corresponde a determinação do ROI (Região dos Objetos de Interesse) nas imagens. O processo de determinação do ROI foi efetuado de forma manual, ou seja, por meio da multiplicação, entre os elementos da matriz de cada imagem de raio-X panorâmico e a sua matriz binária correspondente, resultante do processo de anotação bucal. Figura 1 ilustra um exemplo de como foi realizado o processo para determinação do ROI nas imagens de raio-X panorâmico utilizadas na presente pesquisa.

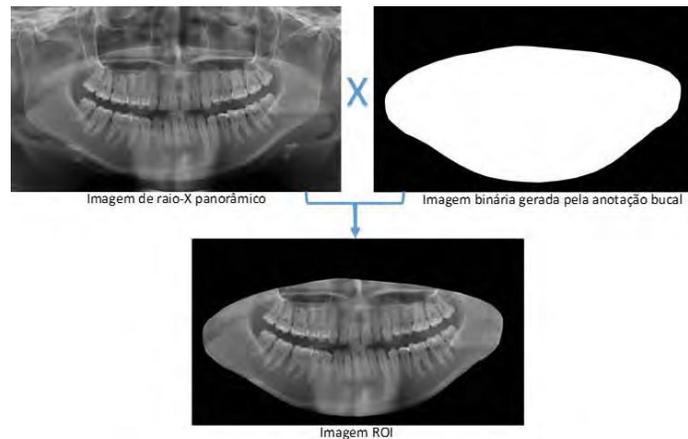


Figura 1. Exemplo do Processo de Determinação Manual do ROI nas Imagens do Dataset. Fonte: Os Autores.

Pretende-se automatizar o processo de determinação do ROI das imagens apresentado na Figura 1 durante o desenvolvimento da presente pesquisa.

2.3. Segmentação

A Segmentação é a etapa atual em que se encontra a presente pesquisa. Em análise de imagem o resultado pretendido não é, geralmente, outra imagem, mas sua descrição. Essa descrição refere-se, em regra, a partes específicas da imagem, correspondentes a regiões que são chamadas de objetos de interesse e fundo da imagem. De acordo com [7], os métodos de segmentação são categorizados de acordo com as características (forma, histograma, adaptação local de limiar, região, entropia, correlação espacial dos *pixels*, dentre outras) procuradas na imagem para gerar o ponto de corte (valor que determina o que são os objetos de interesse e o que não são na imagem analisada). A Tabela 2 apresenta alguns dos métodos de segmentação que já foram avaliados na presente pesquisa e as suas respectivas categorias, conforme são geralmente classificados na literatura revisada. **A partir das referências bibliográficas apresentadas na Tabela 2, pode ser verificado a descrição e os detalhes de implementação de cada método de segmentação estudado na presente pesquisa.**

Tabela 2. Métodos de segmentação avaliados na presente pesquisa. Fonte: Os Autores.

Categoria	Método de Segmentação	Referência
Histograma	Limiarização Básica Global	[3]
Adaptação Local de Limiar	Método <i>Niblack</i>	[4]
Região	Crescimento de Região	[3]
Região	Divisão e União de Regiões	[8]
Entropia	Método <i>Pun</i>	[5]
Entropia	Método <i>Renyi</i>	[7]
Divisor de Águas	<i>Watershed Segmentation</i>	[6]

Uma breve descrição dos resultados obtidos pela avaliação dos métodos de segmentação analisados no presente estudo é apresentado na Tabela 4 da seção 3 do presente documento. Entretanto, outros métodos de segmentação estão sendo analisados com objetivo de melhorar os resultados já alcançados pela presente pesquisa. Espera-se obter com os resultados da segmentação a separação com relação aos dentes dos não dentes nas imagens de ortopantomografia. Neste sentido, o algoritmo de segmentação a ser desenvolvido deverá ser capaz de reconhecer de maneira autônoma os dentes nas imagens de raio-X panorâmico do *dataset* utilizado na presente pesquisa.

2.4. Extração de Características

Na quarta etapa do trabalho aqui proposto, serão utilizados algoritmos capazes de extrair informações que caracterizam o objeto a ser detectado (referente a anomalia dentária) em um espaço de representação específico (Imagens obtidas com o processo de segmentação). Quanto mais exclusivas (únicas) do objeto de interesse forem às características extraídas, mais eficaz será a classificação desse objeto. Alguns algoritmos já são comumente utilizados na literatura como o Histograma de Gradientes Orientados (HOG), momentos invariantes de HU, descritores de *Haralick*, *haar-like features*, dentre outros, para extração de características das imagens. Durante o desenvolvimento da presente pesquisa será definido qual dos algoritmos será utilizado para realizar a extração de características das imagens de raio-X panorâmico, podendo ser a combinação de algoritmos ou ainda adaptação de algoritmos.

2.5. Classificação/Reconhecimento

O processo de classificação será responsável por separar os conjuntos de características extraídos, na etapa anterior, entre aqueles mais prováveis de pertencerem ao objeto de interesse e aquelas menos prováveis. Esta etapa é chamada de classificação de padrões em imagens ou reconhecimento de padrões, onde serão utilizados algoritmos de classificação, dentre os quais destacam-se: As Redes Neurais Artificiais (RNA) e a Máquina de Vetor de Suporte (SVM). Neste sentido, a partir das imagens segmentadas de ortopantomografia, pretende-se criar um classificador automático de anomalias, estas detectadas na arcada dentária a partir das imagens de ortopantomografia, que contribuirá significativamente para área Odontológica, pois possibilitará uma melhor interpretação da imagem médica/odontológica auxiliando na análise dos diagnósticos realizados.

2.6. Avaliação de Resultados

A última etapa da presente pesquisa será destinada à avaliação da solução a ser desenvolvida. Para isso, serão utilizadas métricas que comparam os resultados produzidos pelo algoritmo com aqueles obtidos por meio do processo de anotação manual dos dentes, algumas métricas já estão sendo utilizadas para avaliar os resultados já alcançados, dentre as quais destacam-se: *Accuracy*, *Specificity*, *Precision*, *Sensitivity/Recall* e *F-score*, que são métricas existentes na área de Visão Computacional para medição de desempenho de algoritmos de segmentação. Os resultados serão apresentados em tabelas e gráficos de curvas para medição de desempenho (exemplo: Curva *Precision/Recall*). Para validação dos resultados alcançados correspondentes a identificação automática de anomalias dentárias por meio do modelo proposto, o

profissional (odontólogo) responsável pelo fornecimento das imagens de raio-X Panorâmico (Dr. Matheus Pithon do Centro de Diagnóstico por Imagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB.), irá realizar testes com o objetivo de comprovar a eficiência do experimento realizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa encontra-se em fase de desenvolvimento. Entretanto, Conforme já discutido na seção anterior, alguns métodos de segmentação já foram avaliados pela presente pesquisa. A Tabela 3 apresenta as métricas com as suas respectivas equações que foram utilizadas para avaliar o desempenho de cada método de segmentação já estudado.

Tabela 3. Métricas usadas para avaliação dos métodos de segmentação. Fonte: Os Autores.

Medidas da Detecção de Sinais	
Verdadeiros Positivos (VP)	O elemento de entrada é positivo e o algoritmo classifica como positivo.
Verdadeiros Negativos (VN)	O elemento de entrada é negativo e o algoritmo classifica como negativo.
Falsos Positivos (FP)	O elemento de entrada é negativo e o algoritmo classifica como positivo.
Falsos Negativos (FN)	O elemento de entrada é positivo e o algoritmo classifica como negativo.
Métricas Usadas para Avaliação de Desempenho dos Algoritmos	
Taxa de Acerto (<i>Accuracy</i>)	Relação entre o total de acertos sobre o conjunto total de erros e acertos. Esse valor é calculado por: $(VP + VN)/(VP + FN + FP + VN)$.
Especificidade (<i>Specificity</i>)	Porcentagem de amostras negativas identificadas corretamente sobre o total de amostras negativas. Esse valor é calculado por: $VN/(FP + VN)$.
Precisão (<i>Precision</i>)	Porcentagem de amostras positivas classificadas corretamente sobre o total de amostras classificadas como positivas. Esse valor é calculado por: $VP/(VP + FP)$.
Sensibilidade (<i>Sensitivity/Recall</i>)	Porcentagem de amostras positivas classificadas corretamente sobre o total de amostras positivas. Esse valor é calculado por: $VP/(VP + FN)$.
Medida <i>F-score</i>	Representa a média harmônica entre a precisão e a sensibilidade.

A Tabela 4 apresenta as médias gerais obtidas com o cálculo das métricas: *Accuracy*, *Specificity*, *Precision*, *Recall (Sensitivity)* e *F-score*, que foram aplicadas para avaliar o desempenho de cada método de segmentação já estudado. Para cada uma das métricas calculou-se a média dos seus resultados por categoria do *dataset* utilizado na presente

pesquisa. O número de imagens classificadas é diferente em cada categoria, desse modo, a média geral dos resultados de cada métrica apresentada na Tabela 4 é uma média ponderada dos valores calculados das categorias, obtida a partir do cálculo da média da métrica e multiplicando-se pelo número de imagens da sua respectiva categoria. Em seguida, soma-se os valores encontrados de todas as categorias e o resultado do somatório é dividido por 1500, que representa o total de imagens do *dataset* do presente trabalho que foram utilizadas para avaliar os métodos de segmentação já estudados.

Tabela 4. Média Geral dos Resultados dos Métodos de Segmentação. Fonte: Os Autores.

Método	Accuracy	Specificity	Precision	Recall	Fscore
Limiarização Básica Global	0,79	0,82	0,52	0,69	0,56
Método Niblack	0,82	0,82	0,51	0,83	0,61
Crescimento de Região	0,68	0,69	0,36	0,63	0,44
Divisão/União de Regiões	0,81	1,00	0,82	0,08	0,14
Método Pun	0,82	0,83	0,52	0,81	0,61
Método Renyi	0,85	0,93	0,69	0,41	0,43
Divisor de Águas	0,78	0,76	0,48	0,86	0,59

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostraram que os Métodos de segmentação Niblack, Pun e Divisor de Águas alcançaram o maior valor de sensibilidade (*Recall*), indicando que as imagens segmentadas por estes métodos, apresentaram maior número de verdadeiros positivos (*pixels* que correspondem aos objetos de interesse nas imagens analisadas) e, portanto, pouca quantidade de falsos negativos em relação aos demais métodos de segmentação avaliados. Além de também obterem aproximadamente 80% de acerto em relação a métrica especificidade (*Specificity*), que corresponde aos verdadeiros negativos que foram corretamente identificados. O Método Niblack alcançou 83% de acerto da métrica sensibilidade (*Recall*), desse modo obteve o melhor resultado desta métrica em relação aos demais métodos analisados.

4. CONCLUSÃO

O presente texto apresentou uma visão geral da pesquisa que está sendo realizada, onde o objetivo principal consiste no desenvolvimento de um modelo computacional para detecção automática de anomalias dentárias em imagens de ortopantomografia. A etapa atual em que se encontra a presente pesquisa é a segmentação das imagens de raio-X panorâmico. Neste sentido, já foram realizados estudos para avaliação de métodos de segmentação de imagens (correspondente a um dos objetivos específicos do trabalho aqui proposto), por meio da aplicação em imagens de ortopantomografia, onde o interesse consistiu em verificar se cada algoritmo de segmentação estudado consegue dividir as imagens de raio-X panorâmico em suas unidades significativas (dentes). Para realizar avaliação dos resultados da segmentação, foram estudadas e aplicadas as métricas: *accuracy*, *specificity*, *precision*, *recall* (*sensitivity*) e *F-score* para medir o desempenho dos algoritmos de segmentação e avaliar os resultados encontrados. Após o estudo realizado e até a data da escrita do presente texto, pode-se concluir que nenhum dos algoritmos já estudados conseguiu isolar de maneira eficaz os objetos de interesse (dentes) nas imagens do *dataset* utilizado no trabalho aqui proposto.

Entretanto, de modo geral, observou-se que o algoritmo de segmentação baseado no Método *Niblack* alcançou os melhores resultados em relação aos demais algoritmos de segmentação analisados. Atualmente, a presente pesquisa encontra-se em análise de métodos de segmentação baseados em aprendizagem por classificação de padrões. Então, estão sendo avaliados métodos que aprendem a segmentar ao invés de utilizar métodos com critérios pré-definidos como os que já foram estudados. Desse modo, pretende-se alcançar melhores resultados separando os dentes dos não dentes nas imagens de ortopantomografia.

5. REFERÊNCIAS

- ¹Filho, O. M.; Neto, H. V. *Processamento Digital de Imagens*.: Brasport, 1999.
- ²Kreich, E. M.; Leal, G. A.; Slusarz, P. A. A.; Santini, R. M. Imagem digital na odontologia. *UEPG Ciências Biológicas e da Saúde*, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p.53-61, 2005.
- ³Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. *Digital Image Processing, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ*, 3rd ed., 2008.
- ⁴Niblack, W. *An introduction to digital image processing. Strandberg Publishing Company Birkerød*, 1985. 215 p.
- ⁵Pun, T. *Entropic thresholding: A new approach. Comput. Graph. Image Process*, v. 16, p. 210-239, 1981.
- ⁶R. Audigier and R. A. Lotufo. *The tie-zone watershed: Definition, algorithm and applications. In Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 05)*, pages 654-657, 2005.
- ⁷Sezgin, M.; Sankur, B. *Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. Journal of Electronic Imaging*, v. 13, n. 1, p. 146-165, 2004.
- ⁸Solomon, C.; Breckon, T. *Fundamentos de Processamento Digital de Imagens: uma abordagem prática com exemplos em Matlab*.: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2013.