

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

**DETECÇÃO DE CÁRIE DENTÁRIA POR
FOTOLUMINESCÊNCIA UTILIZANDO
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM COM
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

DAVI CLEMENTINO CARNEIRO

SAPIENTIA AEDIFICAT

2021

DAVI CLEMENTINO CARNEIRO

**DETECÇÃO DE CÁRIE DENTÁRIA POR FOTOLUMINESCÊNCIA
UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM COM
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Odontologia – Área de Concentração em Ciências Odontológicas.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Correia Sampaio

Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Aprígio Menezes Júnior

João Pessoa

2021



ATA DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DEFESA DE Nº: _____

Aos doze dias do mês de Maio do ano de 2021, às 14:00 horas, a partir de utilização do modelo remoto, reuniram-se os membros da banca examinadora composta pelos professores(as) doutores(as): Fábio Correia Sampaio (Orientador e Presidente), Raimundo Aprígio Menezes Júnior (Coorientador), Franklin Delano Soares Forte (membro vinculado ao Programa de Pós-graduação em Odontologia – UFPB) e Jocianelle Maria Felix Fernandes Nunes (membro externo – Universidade Federal da Paraíba) a fim de arquiarem o mestrando Davi Clementino Carneiro, com relação ao seu trabalho final de curso de mestrado (dissertação), sob o título “Detecção De Cárie Dentária Por Fotoluminescência Utilizando Processamento Digital De Imagem Com Inteligência Artificial”. Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar. Em seguida, foi questionado pelos membros da banca examinadora, sendo as explicações necessárias fornecidas e as modificações solicitadas registradas. Logo após, os membros da banca examinadora reuniram-se em sessão secreta, tendo chegado ao seguinte julgamento, que, de público, foi anunciado: 1º Examinadora (membro externo): Conceito “Aprovado”; 2º Examinador (membro vinculado ao PPGO): Conceito “Aprovado”, 3º Examinador (Coorientador): Conceito “Aprovado”, 4º Examinador (Orientador e Presidente): Conceito “Aprovado”. O que resultou em conceito final igual: “APROVADO”, o que permite ao candidato fazer jus ao título de Mestre em Odontologia. Os documentos utilizados para avaliação do candidato durante o processo aqui descrito apresentam-se como prova documental do mesmo e, como tal, serão anexadas a esta ata para arquivamento. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que será por mim assinada, Ricardo Dias de Castro, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da UFPB, pelo presidente, pelos demais membros da banca, e pelo candidato.

Coordenador do PPGO

1º Examinador – Membro Externo

2º Examinador – Membro do PPGO

3º Examinador – Presidente

Candidato

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL DO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

BIBLIOTECÁRIO:

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C289d Carneiro, Davi Clementino.

Detecção de cárie dentária por fotoluminescência
utilizando processamento digital de imagem com
inteligência artificial / Davi Clementino Carneiro. -
João Pessoa, 2021.

52 f. : il.

Orientação: Fábio Correia Sampaio.

Coorientação: Raimundo Aprígio Menezes Junior.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCS.

1. Cárie dentária - Detecção de lesões. 2. Cárie
dentária - Lesões - Inteligência artificial. 3.
Diagnóstico Bucal - Instrumentos digitais. 4.
Processamento de imagem assistida - Computação. I.
Sampaio, Fábio Correia. II. Menezes Junior, Raimundo
Aprígio. III. Título.

UFPB/BC

CDU 616.314-002(043)

Elaborado por ANNA REGINA DA SILVA RIBEIRO - CRB-15/024

DAVI CLEMENTINO CARNEIRO

**DETECÇÃO DE CÁRIE DENTÁRIA POR FOTOLUMINESCÊNCIA
UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM COM
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Banca Examinadora

Prof. Dr. Fábio Correia Sampaio

Examinador - UFPB

Prof. Dr. Franklin Delano Soares Forte

Examinador – UFPB

Prof. Dr. Raimundo Aprígio Menezes Júnior

Examinador - UFPB

Profa. Dra. Jociannelle Maria Felix Fernandes Nunes

Examinadora - UFPB

AGRADECIMENTOS

Agradeço fielmente a Deus pelo objetivo que, por meio deste documento, alcanço, além de diversos outros durante estes dois anos de mestrado.

A meus pais, Denise e Vicente, por toda dedicação constante e incessante para que nada faltasse ou fosse interferência nesta pós-graduação.

A meu orientador, Prof. Dr. Fábio Correia Sampaio, por ter me acolhido de forma impecável em seu laboratório, além de proporcionar todo suporte e ensinamento durante estes dois anos. Que eu tenha o privilégio de manter essa parceria sempre!

A meu coorientador, Prof. Dr. Raimundo Aprígio de Menezes Júnior, por toda dedicação e tempo investido em mim na elaboração desta pesquisa. Que seja a primeira de muitas!

A meu irmão, Lucas, pela permanente parceria e por ser exemplo em praticamente todos os aspectos de vida.

A meus amigos que tenho pouco ou diário contato, por se manterem fiéis ao meu objetivo e serem ombros firmes em meus cansaços, e sorrisos em minhas alegrias.

A meus colegas de turma por toda parceria, mesmo com um período inusitado como a pandemia. Vocês são excelentes profissionais e me orgulho de cada um de vocês.

Aos professores do colegiado e de todo corpo docente do PPGO/UFPB pela dedicação incessante tanto aos alunos como em prol do avanço do curso.

*"What the teacher is, is more
important than what he teaches."*

Karl Meninger

RESUMO

A odontologia está entre as ciências da saúde mais dependentes de tecnologia. O avanço das capacidades de processamento possibilitou a inserção de diversos métodos computacionais nas diversas áreas médicas. Dentre os instrumentos para auxiliar na tomada de decisão, o diagnóstico auxiliado de instrumentos digitais tem se mostrado como uma boa alternativa, gerando resultados mais fidedignos, cada vez mais práticos e rápidos. Objetivou-se desenvolver um sistema automatizado de detecção de lesões de cárie em diversos estágios a partir de fotografias com luz fluorescente por inteligência artificial. Como metodologia, 67 fotografias bucais de diversos ângulos e enfoques foram feitas de 18 pacientes entre 8 e 14 anos. Tais imagens foram filtradas e recortadas em 691 amostras finais para melhor análise. As amostras sofreram segmentação utilizando os sistemas de cores RGB, HSB/HUE e Grayscale, sem modificá-las. Os elementos tiveram sua superfície analisada pelo software *QRayPro*, já validado e considerado como padrão-ouro, abordando todas as faces com desmineralização. Foi utilizado um algoritmo Support Vector Machine (SVM) e redes neurais convolucionais para treinamento do sistema em duas gerações sob código em linguagem Python e C++. Os resultados apresentados pelo algoritmo de limiar `threshold_li` em associação com o canal verde propuseram melhor dissociação de estruturas na mesma imagem. A ampliação da amostra apresentou melhora significativa em análise por software após a inserção da segunda geração de dados. A detecção automatizada de desmineralização inicial apresentou resultado satisfatório em comparação com o padrão-ouro estabelecido em elementos singulares e em fotografias de boca completa, representado em curva de aprendizado, além de gráficos de dissimilaridade e escalabilidade. A inserção ainda maior de dados e melhoramentos em seu código podem tornar o sistema ainda mais inteligente, proporcionando respostas cada vez mais precisas e confiáveis.

Palavras-chave: Diagnóstico Bucal, Inteligência Artificial, Processamento de Imagem Assistida por Computador.

ABSTRACT

Dentistry is among the health sciences that is most dependent on technology. The advancement of processing capabilities has enabled the insertion of several computational methods in different medical areas. Among the instruments to assist in decision making, digital diagnosis has been shown to be a good alternative, generating more reliable outcomes, increasing practicability and being quicker as results to the incorporation of technology. The objective was to develop an automated system for detecting initial caries lesions from photographs with fluorescent light using artificial intelligence. For this study, 67 oral photographs from different angles and approaches were taken of 18 patients between 8 and 14 years old. These images were filtered and cut into 691 final samples that comprised this research. The samples were segmented using the RGB, HSB/HUE and Grayscale color systems, without modifying them. An Support Vector Machine (SVM) algorithm and convolutional neural networks were used to train the system in two generations under Python and C++ coding. The results presented by the threshold_li algorithm in association with the green channel proposed better dissociation of structures in the same image. The expansion of the sample showed a significant improvement in software analysis after the insertion of the second generation of data. The automated detection of initial demineralization presented a satisfactory result in comparison with the gold standard established in singular elements and in photographs of full mouth, as related in a learning curve, in addition to graphs of dissimilarity and scalability. Even greater insertion of data and improvements in the software code can make the system even more intelligent, providing more accurate and more reliable responses.

Keywords: Oral Diagnosis, Artificial Intelligence, Computer-Assisted Image Processing.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CCS	Centro de Ciências da Saúde
CEP-UFPB	Comitê de Ética e Pesquisa da UFPB
ECM	Electric Caries Monitor
FOTI	Fiber Optic Transillumination
HSB/V	Hue, Saturation and Brilliance/Value
HSL	Hue, Saturation and Lightness
HULW	Hospital Universitário Lauro Wanderley
IA	Inteligência Artificial
ML	Machine Learning
QLF	Quantitative Light-Induced Fluorescence
RGB	Red, Green and Blue
SVM	Support Vector Machine
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. CAPÍTULO 1	14
3. CAPÍTULO 2	27
4. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	46
5. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS*	50

1. INTRODUÇÃO

A definição de diagnóstico é a correta interpretação de uma série de sinais e sintomas clínicos de uma determinada doença, para que os profissionais de saúde possam reconhecer a doença e determinar seu tratamento e prognóstico¹. Na área odontológica, os dentistas podem usar o mesmo raciocínio para diagnosticar várias doenças que afetam a boca, a cabeça e o pescoço².

O sucesso da prática clínica no âmbito odontológico depende de uma cascata de fatores que envolvem desde o diagnóstico ao acompanhamento pós procedimento³. Tais considerações modificaram-se ao longo dos anos com a inovação tecnológica, revisitando todos os protocolos cotidianos e criando formas de alcançar a resolução de diversas questões⁴.

A detecção é a visualização de sinais ou variáveis capazes de ocasionar, por si só ou em conjunto a outros fatores, patologias e morbidades, por exemplo. Hoje, a odontologia utiliza de variadas metodologias para detectar previamente sinais como alterações em radiografias, sons mandibulares, limitações de movimento articular e possíveis causas para acometimento da dor⁵.

A cárie dentária é uma das doenças que podem ser estudadas por meio de investigação epidemiológica. Esta patologia é definida pela destruição local da estrutura dentária. No entanto, devido à desmineralização lenta e gradual do tecido duro por bactérias, pode destruir completamente a estrutura do dente e causar o desenvolvimento de doenças⁶. Apesar de ter suas causas bem delimitadas na literatura, a doença cárie ainda proporciona difícil diagnóstico em casos em que não há adequada visualização da lesão consolidada pelo cirurgião-dentista⁷. A mancha-branca, por exemplo, caracteriza a alteração do tecido sadio da estrutura dentária, mas nem sempre se faz a determinação correta do grau em que se encontra a desmineralização, necessitando então de exames secundários para auxiliar nesta prática⁸.

Embora a prevalência da cárie dentária tenha diminuído muito nos últimos anos, ainda é considerada uma das principais doenças crônicas que afetam populações em todo o mundo, por isso é necessário entender sua distribuição e monitorar sua evolução ao longo do tempo⁹. Nesse caso, para estudar cárie na

população, métodos de detecção precisos devem ser usados para fazer o diagnóstico correto.

Dentre todas as modificações e adaptações de metodologia que a odontologia passou, o diagnóstico de lesões talvez tenha sido a que mais sofreu alterações. O método visual-tátil é o mais utilizado pela sua acessibilidade e boa eficácia quando feito por profissionais calibrados. Para proporcionar resultados mais eficazes e ágeis, métodos complementares como o monitor elétrico de cárie (ECM) e metodologias com uso de luz visível, como o FOTI e QLF, se mostraram boas práticas¹⁰.

Na área médica, o avanço tecnológico já auxilia na automatização e simplificação de dados de prontuários, comunicação interprofissional e na despolarização dos achados científicos^{11,12}. A utilização de instrumentos oriundos do processamento computacional é comprovadamente eficaz na redução de erro médico, da dor referida pelo paciente e pelo tempo de acompanhamento pós-cirúrgico, por exemplo¹³.

Inteligência artificial (IA) é um termo inserido na década de 50 que diz respeito a ciência computacional que direciona seus esforços à criação de algoritmos para solucionar problemas que geralmente requerem a inteligência humana. As aplicações de tal tecnologia são incontáveis, visto que é customizada para se adequar às limitações e objetivos do experimento proposto¹⁴.

Existem poucos relatos nacionais da aplicação direta de recursos ligados a inteligência artificial na prática odontológica, mas se trata de uma realidade consolidada e em constante aprimoramento e aplicação mundialmente¹⁵. Estando entre um dos campos da saúde mais dependentes da tecnologia, a odontologia necessita de reformular sua prática clínica e educacional, a fim de receber os benefícios já encontrados pela utilização da IA em outros campos do conhecimento¹⁶.

Esta pesquisa proporcionou diversos horizontes e a elaboração de instrumentos que integrem o uso de tecnologia e odontologia. Dentre eles, a publicação que está inserida como capítulo 1. Vários outros planejamentos já

estão sob desenvolvimento, incluindo a própria ampliação e melhoramento dos achados atuais.

2. CAPÍTULO 1

Detection of Initial Dental Caries Lesion by Photoluminescence Using Digital Image Processing with Artificial Intelligence

DAVI CLEMENTINO CARNEIRO¹

<https://orcid.org/0000-0002-3529-2504>

FÁBIO CORREIA SAMPAIO¹

<https://orcid.org/0000-0003-2870-5742>

RAIMUNDO APRÍGIO MENEZES JÚNIOR¹

<https://orcid.org/0000-0002-2311-1278>

¹Federal University of Paraíba, Department of Dentistry, João Pessoa, Paraíba, Brazil.

HIGHLIGHTS

- The software can detect demineralization with proper accuracy and scalability.
- Outcomes matched images given by gold standard methodologies.
- Updates to hardware and a larger sample can improve the results.

Abstract: Dentistry is among the health sciences that is most dependent on technology. The advancement of processing capabilities has enabled the insertion of several computational methodologies in different medical areas. Among the instruments used in decision making, digital diagnosis has been shown to be a good alternative, generating more reliable results thanks to the incorporation of technology. The objective of this study was to develop an automated system for detecting lesions of initial demineralization from photographs using fluorescent light by artificial intelligence. 67 images of intraoral photographs taken from 18 patients between 8 and 14 years old were filtered and cut into 691 final samples that were segmented using the RGB, HSB/HUE and Grayscale color systems. An SVM algorithm coded in Python and C++ alongside convolutional neural networks were used for system training. Thresholding algorithms (Li) with green RGB channel and limit hue proposed better results on segmenting the structures. The automated detection of initial demineralization presented a satisfactory result on its scalability, dissimilarity and learning curve when compared to gold-standard methods, opening opportunities for constant improvements that will ensure even more accurate and reliable responses.

Keywords: Oral Diagnosis; Artificial Intelligence; Computer-Assisted Image Processing.

INTRODUCTION

Correct diagnosis is the key to success in dental clinical practice. The diagnostic process is composed by the identification of several signals and symptoms observed by diverse methodologies [1].

It is crucial to distinguish the tools that provide dental caries lesion detections as one physical signal from the whole diagnosis. The detection systems are aimed at augmenting the diagnostic process, since they are based on surrogate measures. [2]

Among the various methods used in clinical practice for detection of demineralization, the use of radiographs associated with the tactile-visual method is the most used for its low cost, high reliability, and degree of access by the professional and the patient. With the advancement of technology processing capabilities and depolarization of access to innovations, other detection methods have started to be used by the medical field to make protocols and therapies faster and less harmful in the long run [3].

Photoluminescence is the name given to the property of light emission by objects when they receive a certain external stimulus. A substrate receives a focus of light designed for its purpose and responds according to its characteristics. For this, it is important that both the direction of the light and the quality of the light are adequate [4]. In dentistry, photoluminescence can be used to help detect caries lesions by reflecting light generated by the affected substrate of tooth enamel. The reflectance of the healthy tissue responds in a completely opposite direction to the pointed light, while in carious lesion sites the light dissipates from various angles, providing a shading or detectable shape of different color [5].

However, this data in image usually contains huge amounts of information, which makes interpretation by computers unviable. To distinguish some of the significant components of the data, several techniques can be used, among discriminatory analysis [6], multivariate statistical algorithms [8], neural networks [9] and others. This process has already been carried out by Quantitative Light-induced Fluorescence (QLF), where LEDs of a certain color register these aspects of the fabric to be observed and analyze them in software. Recent publications with such detection methodologies have obtained positive results when compared to already established methods, as visual-tactile [10].

As with QLF, light emission just does not seem to be an adequate method if used in isolation for the detection of caries, since it can lead to bias due to the lack of calibration among various professionals and the imperfection of the human eye analysis. The calibration process is necessary so that all the researchers involved have the same objective in the use of the equipment, in addition to avoiding any loss of possible data for collection or even during its observation [11].

Dental enamel, like an organized surface of minerals, has uniform reflectance when hit by fluorescent light, returning to color in an inverse vector. When affected by the effects of caries, a gap is created that absorbs the light and returns it irregularly, generating an irregular substrate and a color clearly different from that observed in a healthy situation [12].

Neural networks form the basis of most machine learning methods and work very similarly as biological neural networks, where information enters, is processed, and leaves with some action. A key factor of neural networks is the ability to reverse propagation, where the network is optimized with each repetition, which can be convolutional to enhance the findings of the previous ones from the multiplication of data [9].

AI already has its role in the dental field in the automation of various communication and diagnosis procedures for various injuries and pathologies [14]. However, no enamel demineralization detection system has been reported with this technology. This study aimed, therefore, to fill this gap to provide a new instrument for quick and effective use in therapeutic decision-making, in addition to opening a new debate about the technology's capacity to aid health.

The processing of the obtained images through a program involving machine learning may reliably automate the necessary responses to provide better detections of initial dental caries lesions.

MATERIALS AND METHODS

18 patients chosen by convenience between 8 and 14 years old were photographed using the QRay Pro™ (*Inspektor Research Systems, Netherlands*) equipment. The photographic process, as well as the use of documented images for this research, was approved by the Ethics and Research Committee (CEP) by number 77962317.5.0000.5188.

From each patient was taken between 3 and 8 photographs of complete mouth, with emphasis on situations of initial demineralization. A total of 67 images was processed by QRayCam Pro™ (*Inspektor Research Systems, Netherlands*) software licensed by the Hospital Universitário Lauro Wanderley (HULW), where it was possible to confirm the absence or presence of demineralization in each file. Each photographic shot generated 2 images, a standard one with white light (Figure 1A) and one with fluorescent light (Figure 1B), which could be software processed into a third image, clearly showing the demineralized region in a milder coloration in only superficially affected tissue and more intense in regions where the caries was already consolidated.

A White light full mouth image



B Fluorescent light full mouth image



Figure 1. Raw standard and fluorescent light photos taken with QRayPro™

For this study, we used the image taken with fluorescent light without software processing, as we propose an individual method of reaching the same goal. The software processed photograph was used as the gold standard for confirming demineralization, in association with case discussion with the authors. Each image was cut into samples of size 250x250pixels representing healthy elements, with initial demineralization and with consolidated caries (Figure 2). A total of 691 samples were generated after the cut of the original 67 taken were used in the result of this study.

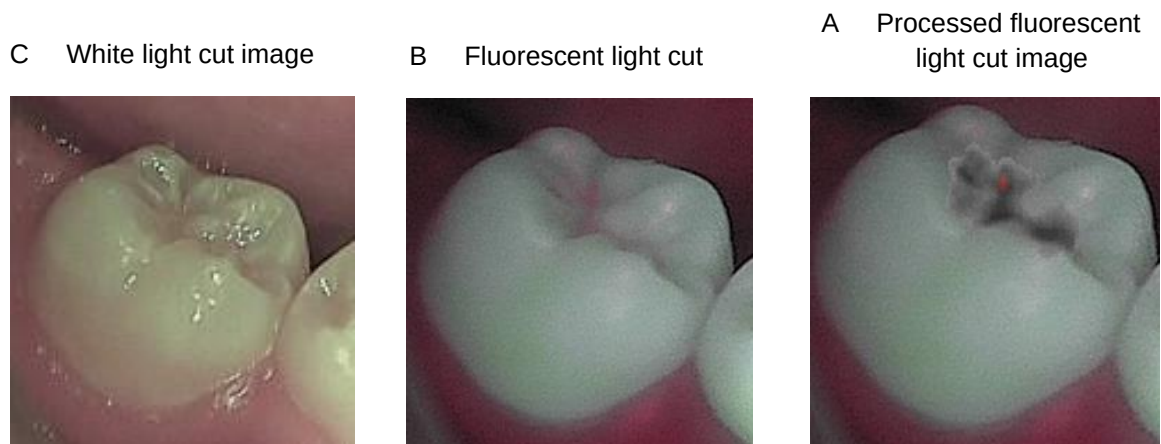


Figure 2. Cut images of the three possible used images taken with QRayPro™

Pre-processing

RGB segmentation

For the separation of objects (primarily dental and gingival elements), the segmentation algorithm based on the RGB (Red, Green and Blue) color system was used samples that varied from healthy elements to situations of already consolidated caries. The justification for this is due to the exorbitant range of colorings of the system, its ease of use and for being the system used in all screens of computers, cell phones and other devices. A separation was made between the three-color channels for visual definition of which would be more appropriate to use (Figure 3).

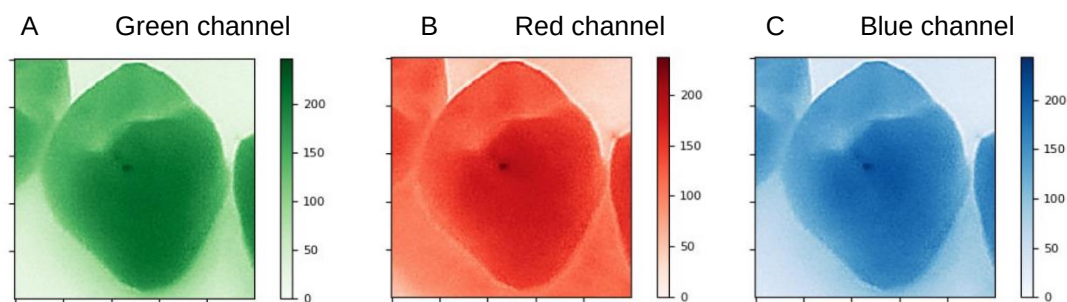


Figure 3. Separation of RGB channels in individual tooth image.

The histogram analysis of each color channel was performed. The coloring responsible for the gingiva was represented by the region between 50 and 75, therefore, the channel that presented the largest portion of this coloring would have a greater capacity to distinguish the represented elements.

In conjunction with the selection of the most appropriate channel for better separation, we opted for the use of segmentation algorithms already consolidated on the literature for object separation. The algorithms defined for testing were *otsu*, *minimum*, *mean* and *li*. These algorithms only have the function of separating the target object from the analysis, using its own methodology and aiming at a better observation of the studied variable.

Therefore, each sample was tested on all three channels and each channel underwent the processing of each of the four algorithms for separation. The results were based directly on the sample analyzed and computed directly with the limits of the dental element, with 1 being the exact lossless approach and 0 being the complete separation error.

HSB-HUE segmentation

As a second stage still in pre-processing, but for dividing areas in the same object, the HSB system was chosen due to the easy dissociation generated.

The hue channel presents the maximization of the hue of the fundamental color represented by the object, giving direct emphasis to the variations found, even if small.

Also in this channel, it is possible to use the limit determinant, where there is a direct separation between the primary colors found in the image.

To finalize the pre-processing step and continue the experiment, the association of the images resulting from the RGB segmentation steps with their best determinants and the hue segmentation was then used.

Processing

Grayscale Image

Despite the various filters and steps already taken, the variety of colors still present reduces the effectiveness of the objective of automated detection. To overcome this barrier, it was decided to apply a simple grayscale filter that has a color spectrum between 0 (absolute black) and 255 (absolute white).

With this method, it became considerably easier to visually determine regions with demineralization in early stages and, as a major objective, to inform in a simplified way what would be a healthy layer and one that underwent demineralization. The use of Grayscale is referred to be accurate in simplification of information on image analysis on past researches [15].

AI SVM classification

An association between convolutional neural networks and an SVM (support vector machines) algorithm was used to create a database in Python in association with C++ language coded on the Linux CentOS 8 operating system. The software was designed to store information given by the researcher and, with each new data, to respond by itself in analyzes of new images with efficiency and precision.

Each sample, therefore, presented a color pattern for healthy regions and regions with initial or consolidated caries. Such patterns were analyzed in a histogram of each sample. The cited regions could be divided into 2x2 matrices, where each pixel would have its color represented by a number from 0 to 255, respecting the simple Grayscale color system. The cutout would then be inserted into the input layer of the SVM algorithm and set as the default for the defined layer. The repetition of this process created the intermediate layer, responsible for the intelligence and recognition of the color pattern related to the referred layer. Finally, the response of the algorithm is represented by the output layer, where the presentation of a number close to 0 would consider the layer as not demineralized, and 1 as demineralized. The full process is shown in figure 3.

This whole process was done in two incremented generations, being the first one with 426 cut samples and a second one with more 265, totalizing 691 points of final analyzation done by the software.

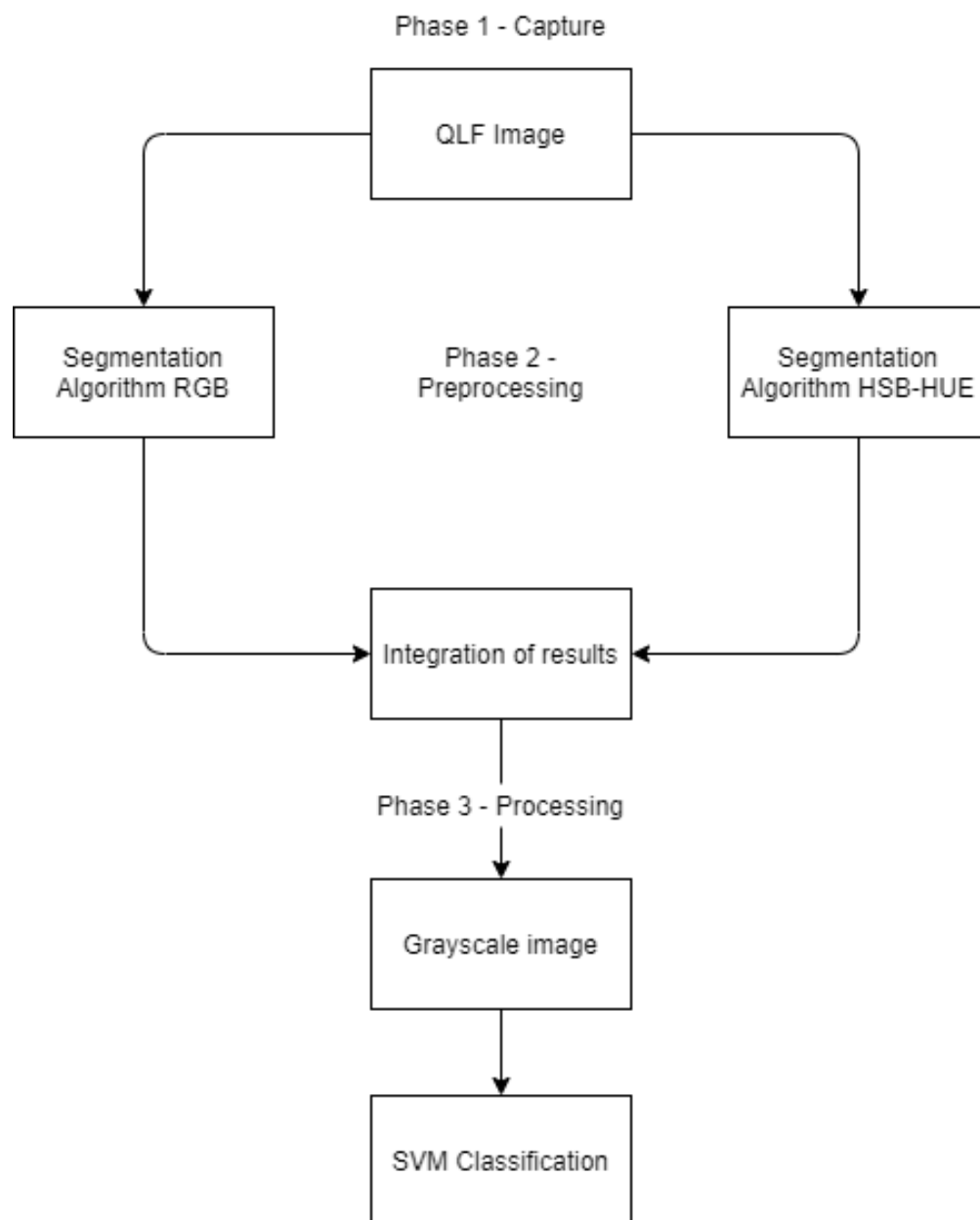


Figure 3. Diagram of the full method used for classification.

RESULTS AND DISCUSSION

The pre-processing established the use of the channel alongside the threshold_li algorithms, for their better results on segmenting different structures of the same image and rejecting elements that were not the focus of the analysis (Figure 4). Red channels present low dissimilarity of objects in image and should not be used for this purpose (Figure 5).

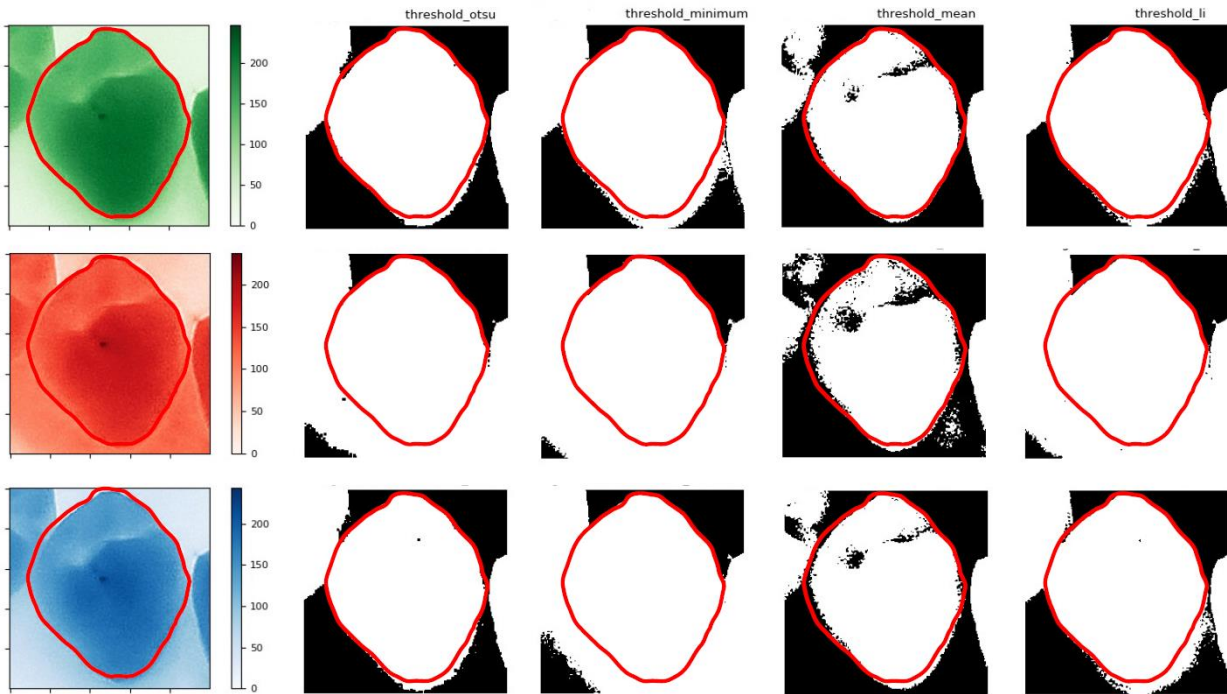


Figure 4. Segmentation result by application of thresholding in each RGB channel.

Other researches present advances regarding the use of RGB color system [16] and the same algorithm [17–19] but for different purposes. The use of these methods for dentistry is innovative, not being related before in the literature.

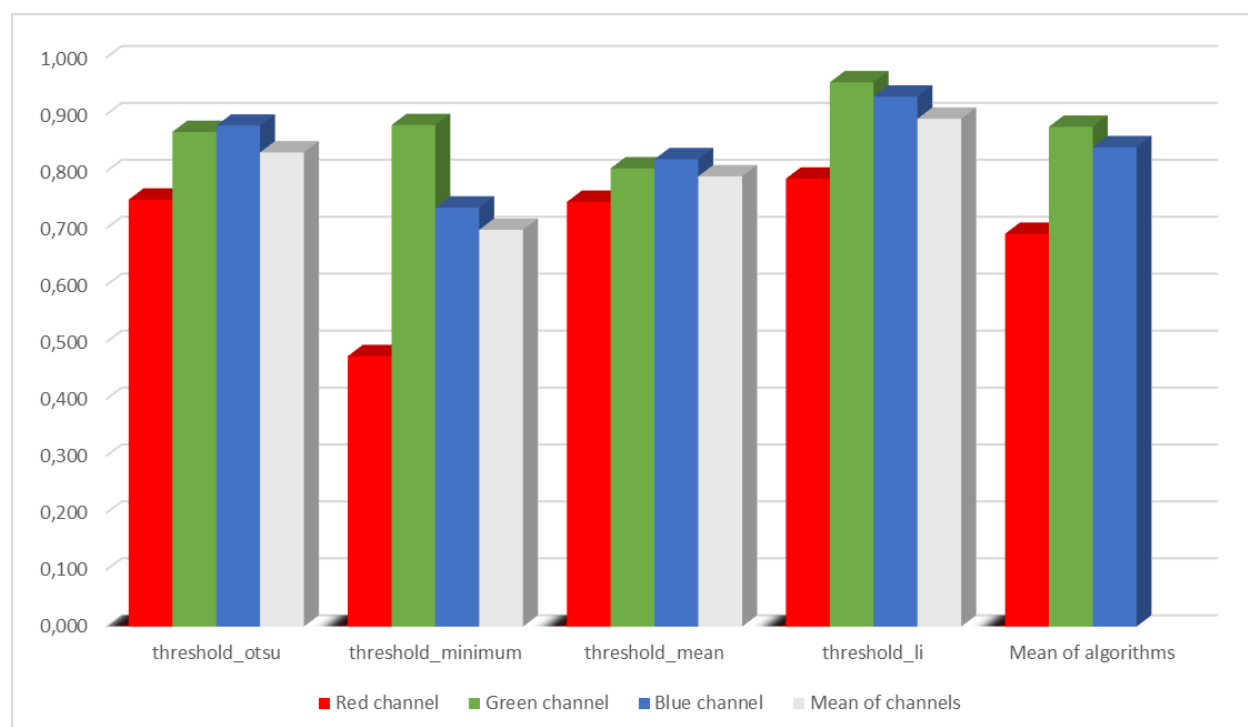


Figure 5. Mean result of segmentation done by thresholding in each RGB channel.

The limit function on HSB color system generated a highlight of detail only on the main structure needed. This functionality occurs because there is a noticeable difference in color between the enamel and gingiva or interdental papilla. A brown-gray area is visible to human eye, that is converted to a delimited trace. Any other signals of reflectance taken by fluorescence as demineralization signals are also represented by the same function (Figure 6C).

A Raw fluorescent light image

B HSB Image, hue channel

C HSB Image, hue limit channel

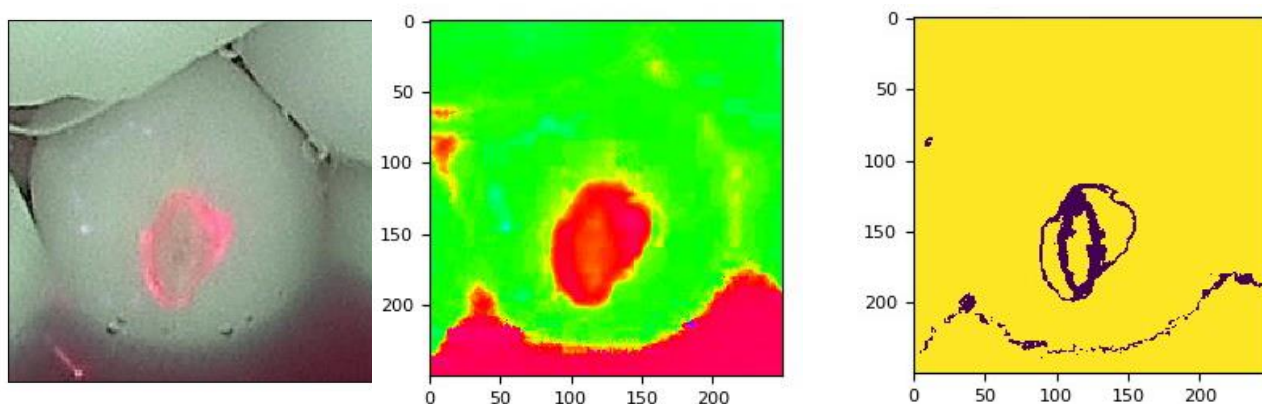


Figure 6. HSB channel applied to fluorescent image.

The increment of samples and the automatized learning process represents a better result in the detection of demineralization. Although there could be a remaining of false-positive results, the detection seems to match the validation needed and the image

displayed by the gold standard processing. Even with the addition of considerably more samples to process, the scalability remained low (Figure 7).

The initial results already showed satisfactory detection of regions with suggestive demineralization, even in conditions that are not proper to analyzation, such as presence of saliva and angulation of the photo.

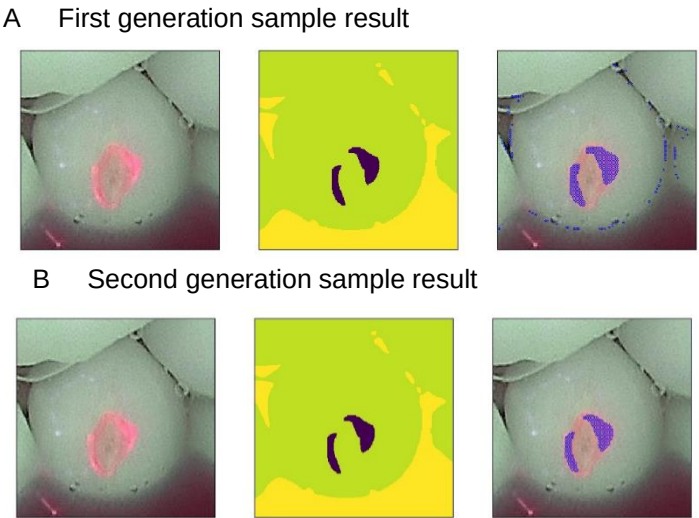


Figure 7. Comparison of results from addition of generation of data.

Outcomes even from first generation training show significant detection of demineralization on samples, when in comparison with gold-standard methods. These results match other applications that use the same learning method, as it is a common use in machine learning [20–22].

Dissimilarity results are adequate for validation, since there is a large difference between the color of each pixel that represents the pattern of demineralization and healthy layers (Figure 8). However, this does not synthesize the general outcome, as dental caries may present itself in many ways that the actual number of samples did not represent it totality [23].

Since each 250x250px image is fragmented in several parts for individual pixel analyzation, the process of automatizing the outcome takes a few seconds. This depends on the system that is running the code, the quality of the image given and on the classification process, that can be upgraded to be faster. The learning curve presented sufficient segmentation and detection of demineralization on the two generations of samples given, when compared to the gold-standard instrument (Figure 9).

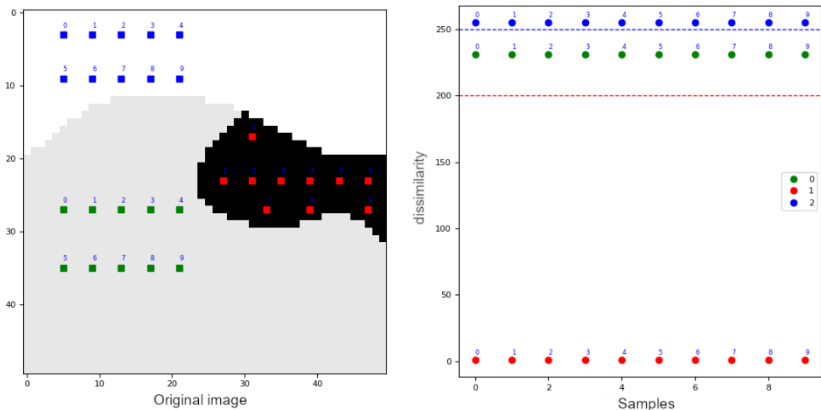


Figure 8. Dissimilarity graphic of automatized results.

It is clear that the implement of new generations of training will propose even better and accurate results, as the pattern will be better defined.

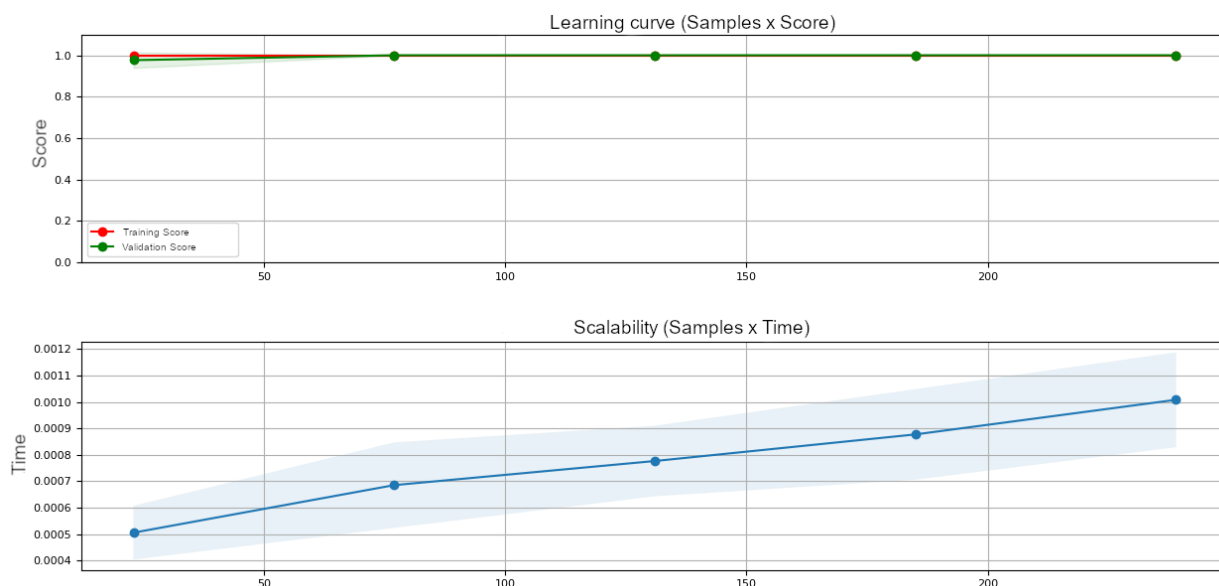


Figure 9. Learning curve and Scalability of the processment after the second generation of samples.

Despite positive results, this study experienced limitations during its construction. There was no adequate standardization in the capture of images using the QRay Pro™ instrument, which resulted in the loss of several samples due to inadequate angulation, fogging or poor condition of the elements for registration (too much saliva and or presence of biofilm). As the records were made in November 2019, the impediment of in vivo research by the COVID-19 pandemic hampered the realization of new standardized photographs. The use of few samples in the feeding of the intermediate layer resulted in a satisfactory response, but the insertion of new and standardized data could lead to a higher detection potential. Taking new images that respect the fundamental conditions for a good processing of this methodology will make the results more effective.

PATENTS

The software used in this study is under copyrights by the National Institute of Industrial Property (INPI) protocol number of 512020002488-2.

Funding

This research received no external funding.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), for granting the scholarship to DCC; as well as to the Post-Graduation Program in Dental Sciences of Federal University of Paraíba-PB for all the support for this research.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Baelum V. What is an appropriate caries diagnosis? *Acta Odontol Scand*. 2010;68(2):65–79.
2. Pretty IA. Caries detection and diagnosis: Novel technologies. *J Dent*. 2006 Nov 1;34(10):727–39.
3. Blatz MB, Chiche G, Bahat O, Roblee R, Coachman C, Heymann HO. Evolution of Aesthetic Dentistry. *J Dent Res*. 2019 Nov;98(12):1294–304.
4. Filho JCBL, De Souza TR. Métodos de detecção de cárie: do tradicional às novas tecnologias de emprego clínico. *Rev Odontol Universidade Cid São Paulo*. 2017 Dec 7;23(3):253.
5. Alammari MR, Smith PW, De Josselin De Jong E, Higham SM. Quantitative light-induced fluorescence (QLF): A tool for early occlusal dental caries detection and supporting decision making in vivo. *J Dent*. 2013;41(2):127–32.
6. Ekert T, Krois J, Meinhold L, Elhennawy K, Emara R, Golla T, et al. Deep Learning for the Radiographic Detection of Apical Lesions. *J Endod*. 2019 Jul;45(7):917-922.e5.
7. Tomatis S, Bartoli C, Bono A, Cascinelli N, Clemente C, Marchesini R. Spectrophotometric imaging of cutaneous pigmented lesions: Discriminant analysis, optical properties and histological characteristics. *J Photochem Photobiol B*. 1998;42(1):32–9.
8. Ramanujam N, Mitchell MF, Mahadevan A, Thomsen S, Malpica A, Wright T, et al. Development of a multivariate statistical algorithm to analyze human cervical tissue fluorescence spectra acquired in vivo. *Lasers Surg Med*. 1996;19(1):46–62.
9. Amato F, López A, Peña-Méndez EM, Vañhara P, Hampl A, Havel J. Artificial neural networks in medical diagnosis. *J Appl Biomed*. 2013;11(2):47–58.
10. Pereira AC, Eggertsson H, González-Cabezas C, Zero DT, Eckert GJ, Mialhe FL. Quantitative light-induced fluorescence (QLF) in relation to other technologies and conventional methods for detecting occlusal caries in permanent teeth. *Braz J Oral Sci*. 2011;10(1):27–32.
11. Christian B, Amezdroz E, Calache H, Gussy M, Sore R, Waters E. Examiner calibration in caries detection for populations and settings where in vivo calibration is not practical. *Community Dent Health*. 2017 Dec 1;34(4):248–53.
12. Li R, Ma X, Liang S, Sa Y, Jiang T, Wang Y. Optical properties of enamel and translucent composites by diffuse reflectance measurements. *J Dent*. 2012 Jul;40 Suppl 1:e40-47.
13. Soares G, Souza P, Purger F, Vasconcellos A, Ribeiro A. Métodos de detecção de cárie. *Rev Bras Odontol*. 2012;69(1):84–9.

14. Baliga MS. Artificial intelligence - The next frontier in pediatric dentistry. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2019;37(4):315.
15. Paddock K, Zeigler L, Harvey B, Prufrock KA, Liptak JM, Ficorilli CM, et al. Comparative dental anatomy in newborn primates: Cusp mineralization. *Anat Rec Hoboken NJ* 2007. 2020 Sep;303(9):2415–75.
16. Degirmenci N, Dogan R, Tugrul S, Senturk E, Toprak A, Ozturan O. Red-green-blue analysis of nasal mucosa discolouration in allergic rhinitis. *J Laryngol Otol*. 2020 Apr;134(4):332–7.
17. Berl MM, Zimmaro LA, Khan OI, Dustin I, Ritzl E, Duke ES, et al. Characterization of atypical language activation patterns in focal epilepsy. *Ann Neurol*. 2014 Jan;75(1):33–42.
18. Iwami Y, Hayashi N, Yamamoto H, Hayashi M, Takeshige F, Ebisu S. Evaluating the objectivity of caries removal with a caries detector dye using color evaluation and PCR. *J Dent*. 2007 Sep;35(9):749–54.
19. Kim M, Kim B, Park B, Lee M, Won Y, Kim CY, et al. A digital shade-matching device for dental color determination using the support vector machine algorithm. *Sens Switz*. 2018;18(9).
20. Çatak FÖ, Balaban ME. A Map Reduce-based distributed SVM algorithm for binary classification. *Turk J Electr Eng Comput Sci*. 2016;24(3):863–73.
21. Bizu B, S SK, G UP, Visnu R. Teeth Classification Using GLCM and Support Vector Machine Computer Science Department , Kongu Engineering College , India Computer Science Department , Kongu Engineering College , India Computer Science Department , Kongu Engineering College , India Comp. 2020;29(6):5128–34.
22. Burges CJC. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Min Knowl Discov*. 1998;2(2):121–67.
23. Bowen WH. Dental caries – not just holes in teeth! A perspective. *Mol Oral Microbiol*. 2016;31(3):228–33.

3. CAPÍTULO 2

Aplicações de Machine Learning em Ortodontia: uma revisão integrativa

Applications of Machine Learning in Orthodontics: an integrative review

Aplicaciones del Machine Learning en ortodoncia: una revisión integradora

Davi Clementino Carneiro¹

Fábio Correia Sampaio¹

Raimundo Aprígio Menezes Junior¹

¹Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil.

Resumo

A prática odontológica tem constante influência dos avanços da tecnologia, desde o planejamento até o acompanhamento pós-operatório. A ortodontia utiliza de metodologias e ferramentas com décadas de origem para determinar propostas de tratamento. A inteligência artificial, por meio do Machine Learning, surge como uma ferramenta capaz de proporcionar melhorias em protocolos anteriormente consolidados ou determinar melhores condições de conforto e assertividade clínica não só para os profissionais, mas todos envolvidos em sua aplicação. Esta revisão integrativa tem como objetivo sintetizar os relatos de aplicação de machine learning aplicados a ortodontia, bem como ponderar possíveis limitações da integração dessa tecnologia. Foram utilizadas as bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science e BVS Regional com os termos MeSH “Ortodontia” e “Machine Learning” nos idiomas inglês, espanhol e português. Uma amostra final de 24 artigos foi analisada, e deles foi extraído o país de origem, objetivo e possíveis limitações descritas. Os resultados apontam que, apesar de recentes, a inserção da inteligência artificial por meio do machine learning na ortodontia, enfrenta dificuldades como a capacitação profissional e limitações relacionadas a tamanho de amostra. É possível visualizar a ênfase na realização de atividades como Cefalometria e planejamento ortodôntico automatizado, que se tornam consideravelmente mais rápidos e precisos.

Inteligência Artificial, Odontologia, Redes Neurais de Computação

Introdução

A odontologia é um dos campos da área de saúde mais dependentes de tecnologia, sempre em estado de aprimoramento e constante atualização de novos instrumentos e metodologias de diagnóstico, a fim de propiciar o melhor conforto e melhores taxas de sucesso pós tratamento ¹.

Inteligência Artificial (IA) é um termo que apenas foi inserido na ciência em 1989 e que se refere a máquinas que podem imitar o conhecimento humano e sua forma de agir. Essa capacidade pode ser implementada por sequencias de algoritmos. Com a melhoria dos componentes relacionados a computação, é possível para a IA processar largos bancos de dados, revelando o comportamento humano e permitindo a interação com pessoas ².

Um dos aspectos mais importantes de qualquer tecnologia é o aprendizado, que se define como o processo de melhoramento de performance ou comportamento por prática e experiência. Uma das formas que a IA se aprimora é por meio do Machine Learning (ML), com a inserção de dados relativos à variável estudada, para que haja automação e a geração de resultados não-supervisionados, por exemplo.

É sabido que os novos conhecimentos proporcionaram uma revolução no atendimento odontológico, que pode ser observado em diversas vertentes ³. Com a remodelação do padrão estético alvejado, novos materiais restauradores foram implementados, como resinas com capacidade híbrida que solucionam as desvantagens de produtos anteriormente utilizados ou até mesmo a larga utilização de compostos cerâmicos ⁴. Além disto, passou-se a utilizar cada vez mais a assistência tecnológica na prática dos dentistas. Scanners intraorais, simulações 3D de movimentação dentária e protótipos de estudo ocupam o lugar de diversos métodos e instrumentos anteriormente utilizados, proporcionando maior agilidade e precisão nos objetivos ⁵.

Não há, até a presente data, nenhuma revisão que integre os relatos aplicados da ortodontia em associação específica com ML, além de apresentar suas limitações e desafios.

Método

Tratou-se de uma revisão integrativa da literatura norteadas pela seguinte pergunta: “Quais as aplicações atuais da inteligência artificial por meio do machine learning na prática clínica e educacional da ortodontia e quais são as possíveis barreiras encontradas na integração desta tecnologia?”. Uma estratégia de busca foi planejada nas bases de dados Web of Science, PubMed, BVS Regional e Scopus, através de um proxy da Universidade Federal da Paraíba, a fim de que os achados sejam na sua totalidade possível. Os termos utilizados foram baseados na consulta MeSH (*Medical Subject Headings*; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/>) dos conceitos objetivos, bem como os termos relacionados (Quadro 1). Operadores booleanos combinados OR e AND foram utilizados e adaptados para cada plataforma de busca.

Para sua inclusão, o artigo deveria relatar, em idioma inglês, espanhol ou português, a utilização de metodologia autônoma por computadores de quaisquer tipos ou finalidade dentro do escopo odontológico na prática clínica ou de uso educacional, disponibilizando seu texto completo. Seria fundamental entender o que levou a utilização deste instrumento e seu resultado.

Foram determinados os critérios de exclusão temáticas não relacionadas a machine learning, aplicações sem resultados analisáveis ou ausentes, que abordassem outras profissões de saúde, editoriais, cartas, opiniões, comentários e entrevistas. Revisões sistemáticas e meta-análises também não foram incluídas.

As publicações inseridas foram categorizadas por ano, país de publicação, método, objetivo principal e possíveis limitações relatadas.

Quadro 1
Estratégia de busca.

PORTAL	BUSCA
BVS Regional	(machine learning) AND (orthodontics) AND (mj:("Ortodontia"))
PubMed	("Machine Learning"[Mesh]) AND "Orthodontics"[Mesh]
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("Machine Learning") AND TITLE-ABS-KEY ("Orthodontics" OR "Orthodontic") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))
Web of Science	TS=("Artificial Intelligence" OR "Deep Learning" OR "Machine Learning" OR "Computational Intelligence" OR "Computer Vision System") AND TS=("Dentistry" OR "Dental Equipment" OR "Dental Education" OR "Oral Medicine" OR "Dental Instruments")

Fonte: elaboração própria.

Resultados

Um total de 61 artigos foram inicialmente identificados pelas bases de dados (8 pela BVS Regional, 6 pela PubMed, 17 pela Scopus e 30 pela Web of Science). Deste resultante, 21 foram removidos (21 por duplicatas).

40 artigos foram selecionados para *screening* de título e resumo baseado nos critérios de inclusão e exclusão individualmente, para confirmar a utilização do mesmo. 7 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão propostos (3 revisões sistemáticas e 4 publicações de conferências).

Após a leitura dos remanescentes em texto completo, verificou-se a existência de artigos que não relatavam tecnologia de automação ou relacionada ao uso ou descrição de ML (3 artigos), de aplicações de outras especialidades da odontologia (3 artigos), ou na inexistência de texto completo em publicação virtual (3 artigos) que resultou na retirada de 9 artigos.

Finalmente, restaram 24 artigos para análise completa. Os países que se destacaram com maior número de publicações foram os Estados Unidos, com 5 (20,8%, n=5), Coreia do Sul (20,8%, n=5) e China (12,5%, n=3) (Tabela 1).

Quanto ao método utilizado, dos 23 estudos incluídos, 70,8% (n=17) usou abordagens laboratoriais, destacando a apresentação de metodologias inovadoras, comparativos de algoritmos ou modificações em proposições já divulgadas. Apenas 12,5% (n=3) utilizou de metodologia observacional com estudos transversais e apenas 1 foi definido como caso-controle.

A esquematização completa está representada na figura 1. Os resultantes da análise sob as variáveis descritas anteriormente estão apresentados no quadro 2.

Tabela 1

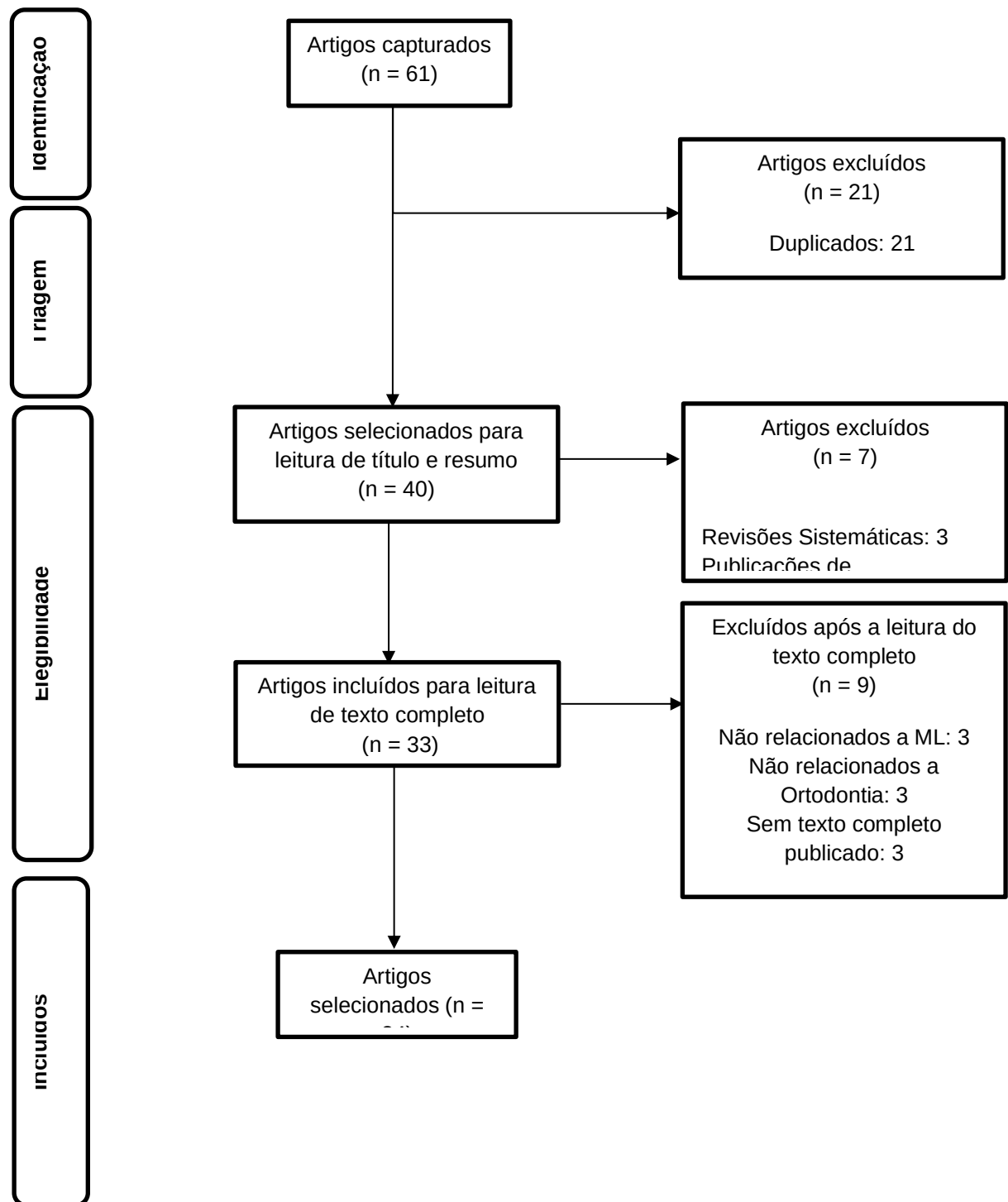
Estudos por país e anos de publicação.

País de publicação	2009	2014	2016	2018	2019	2020	Total
China		1				2	3
Estados Unidos					2	3	5
Alemanha						1	1
Coreia do Sul			1		1	3	5
Marrocos						1	1
Suécia					1		1
Índia						1	1
Arábia Saudita						1	1
Reino Unido	1						1
Chile				1			1
Tailândia				1			1
França					1		1
Malásia					1		1
Polónia						1	1
Total	1	1	1	2	6	13	24

Fonte: elaboração própria.

Figura 1

Fluxo de seleção do estudo.



Quadro 2

Características dos estudos incluídos.

Estudo (Ano)	País da publicação	Objetivo principal do estudo	Método	Limitações
Mulgrew et al. ⁶ (2009)	Reino Unido	Avaliação de programa modular de ensino virtual de pós-graduandos em ortodontia.	Estudo Observacional Transversal	Alunos demonstram preferência na interação presencial com tutores.
Yu et al. ⁷ (2014)	China	Estabelecimento de metodologia para avaliação de atratividade facial por fotografias ortodônticas.	Estudo Laboratorial	Algumas angulações e pontos específicos das fotografias não puderam ser usados para avaliar atratividade.
Jung & Kim ⁸ (2016)	Coréia do Sul	Construção de sistema de diagnóstico de extrações com propósito ortodôntico usando Machine Learning	Estudo Observacional Transversal	O diagnóstico foi confirmado apenas em procedimentos não-cirúrgicos; O sistema não inclui casos com diversas características, como elementos ausentes ou assimetria.
Ruz & Araya-Diaz ⁹ (2018)	Chile	Apresentação de modelo de predição de biotipo facial usando classificadores Bayesianos	Estudo Laboratorial	Não relatadas.
Thanathornwong ¹⁰ (2018)	Tailândia	Desenvolvimento de sistema de decisão clínica para necessidade de tratamento ortodôntico.	Estudo Laboratorial	Número reduzido de data-sets.
Allareddy et al. ¹¹ (2019)	Estados Unidos	Levantamento de análise de big data, aplicações envolvendo machine learning e suas implicações em ortodontia.	Revisão da literatura	Não relatadas.
Blatz et al. ⁴ (2019)	Estados Unidos	Levantamento de avanços e adaptações da odontologia estética.	Revisão da Literatura	Não relatadas.
Dallora et al. ¹² (2019)	Suécia	Apresentação de tendências e lacunas relacionadas a identificação de idade por análise óssea usando machine learning.	Revisão da Literatura	Avaliador A1 sem expertise médica.
Makaremi et al.	França	Desenvolvimento de	Estudo	Requer que as amostras

Estudo (Ano)	País da publicação	Objetivo principal do estudo	Método	Limitações
¹³ (2019)		método para determinação de grau de maturação óssea em radiografias de perfil utilizando Deep Learning.	Laboratorial	sejam de mesmas características e de distribuição igualitária.
Park et al. ¹⁴ (2019)	Coréia do Sul	Comparação da acurácia e eficiência computacional de dois algoritmos de identificação automática de pontos cefalométricos.	Estudo laboratorial	Ambas as metodologias têm acurácia baixa quando o objeto é pequeno.
Rao et al. ¹⁵ (2019)	Malásia	Avaliação de efetividade e acurácia de algoritmo na identificação e análise de pontos faciais em imagens de duas dimensões (2D).	Estudo laboratorial	Erros devido a curvaturas e contornos da face.
Alalharith et al. ¹⁶ (2020)	Arábia Saudita	Avaliação das metodologias de detecção e reconhecimento de doença periodontal em pacientes ortodônticos.	Estudo Laboratorial	Foco em regiões específicas da gengiva; Não foram considerados aspectos sociodemográficos na amostra.
Asiri et al. ¹⁷ (2020)	Estados Unidos	Revisão de conceituação de inteligência artificial, machine learning e aplicações em ortodontia.	Revisão da Literatura	Não relatadas.
Chen et al. ¹⁸ (2020)	Estados Unidos	Introdução de método de segmentação e identificação automatizada de constricção maxilar em pacientes com caninos impactados.	Estudo laboratorial	Limitação em limiarização.
Hung et al. ¹⁹ (2020)	China	Revisão de desenvolvimentos e na performance de IA para geração de imagens 3D em radiologia dentária.	Revisão da Literatura	Viés de seleção de artigos pelo desenho do estudo.
Hwang et al. ²⁰ (2020)	Coréia do Sul	Comparação de padrões de pontos cefalométricos identificados por IA e por examinadores.	Estudo Observacional Transversal	Ausência de descrição de metodologia utilizada para treinamento de IA.
Juneja et al. ²¹ (2020)	Índia	Investigação de capacidades de deep learning para classificação de oclusão dentária utilizando imagens 3D.	Estudo laboratorial	Necessidade de calibração e capacitação de dentistas na tecnologia.

Estudo (Ano)	País da publicação	Objetivo principal do estudo	Método	Limitações
Kim et al. ²² (2020)	Coréia do Sul	Desenvolvimento de análise cefalométrica automatizada utilizando deep learning e aplicação web.	Estudo laboratorial	Alguns pontos não são suficientemente precisos para serem usados em situações clínicas.
Kunz et al. ²³ (2020)	Alemanha	Avaliação de análise cefalométrica utilizando redes neurais convolucionais customizadas.	Estudo laboratorial	Preferência de parâmetros já padronizados na literatura.
Machoy et al. ²⁴ (2020)	Polonia	Levantamento da utilização de machine learning na prática odontológica	Revisão da Literatura	Apenas uma pequena fração dos estudos pôde ser examinada.
Pan et al. ²⁵ (2020)	China	Avaliação de mudança de espessura do músculo masseter e tecidos circundantes em pacientes fêmeas durante tratamento ortodôntico	Caso-controle	Participantes de mudança de peso até dois quilos foram incluídos no estudo; Fatores externos como tratamentos com uso de radiação não foram analisados.
Riri et al. ²⁶ (2020)	Marrocos	Investigação da classificação de imagens ortodônticas utilizando metodologias de machine learning	Estudo laboratorial	Não relatadas.
Suhail et al. ²⁷ (2020)	Estados Unidos	Apresentação de metodologia de Ensemble Learning para diagnóstico de extrações dentárias para finalidade ortodôntica.	Estudo laboratorial	Resultados apenas para tratamentos não-cirúrgicos foram relatados; Diversos padrões de extração foram excluídos.
Shin et al. ²⁸ (2020)	Coréia do Sul	Desenvolvimento de predição automatizada de necessidade de cirurgia ortognática utilizando cefalograma em deep learning.	Estudo laboratorial	Apenas pacientes coreanos foram incluídos, e apenas de um hospital.

Fonte: Elaboração própria.

Discussão

Os objetivos apresentados e seus impactos no cotidiano clínico e educacional

O acesso a tecnologia reflete na maioria das publicações mais recentes serem de centros de inovação tecnológica, como os Estados Unidos, China e Coréia do Sul ²⁹. Tais países já dispõem de ferramentas digitais integradas a ambientes educacionais e clínicos desde a formação dos profissionais de saúde ³⁰.

Como o desenvolvimento de metodologias inovadoras resulta na criação de patentes e novas documentações, é compreensível a larga quantidade de estudos laboratoriais. Especificamente, é visível o foco no desenvolvimento de digitalizações de atividades já existentes, em contrapartida ao uso de novos parâmetros ou variáveis. Isto é justificado pela etapa inicial de adequação e entendimento do funcionamento dos algoritmos ³¹.

Boa parcela dos objetivos refletem o foco na predição de necessidades de tratamento e na utilização de imagens multidimensionais (29,1%, n=7). A utilização de scanners 3D para ambientes clínicos e virtualização de realidade no contexto educacional é uma tendência, e percebe-se que irá alcançar a elaboração de planejamentos restauradores em larga escala ^{32,33}. Estudos como o de Noort et al. ¹ e Blatz et al. ⁴ fazem um apanhado histórico de como o ensino da odontologia avançou e se modificou com o uso de celulares, computadores e demais ferramentas digitais.

Em suma, o foco das metodologias adotadas foi pela virtualização e automação da cefalometria, feita comumente de forma manual com auxílio da imagem radiológica (25%, n=6). Por se tratar de um planejamento fundamental no tratamento ortodôntico, os resultados cefalométricos digitais podem proporcionar ganhos em tempo, acurácia e documentação dos padrões faciais para auxiliar em futuras pesquisas ³⁴.

Grande parte dos estudos foi publicado nos anos 2019 e 2020 (79,1%, n=19), fortalecendo o pensamento de que o processamento não supervisionado de dados, com o feito por ML, é o próximo passo no avanço das metodologias que utilizamos. Isto já havia sido previsto em diversos

estudos que acompanham os aprimoramentos de tecnologia e de protocolos usados em odontologia ^{1,4,35}.

Limitações relatadas: até onde a IA consegue ser integrada aos dentistas?

Apesar da inovação realizada, os resultados são majoritariamente experimentais e não são indicados para uso clínico, ressaltando sempre a necessidade de ultrapassar dificuldades e limitações de estudo.

Publicações como a de Makaremi et al. ¹³ refletem na descrição majoritária da necessidade de variabilidade na amostra, em pensamento divergente à capacidade de entendimento dos instrumentos utilizados. Dados padronizados refletem resultados que não representam a totalidade do que pode acontecer clinicamente, mas instrumentos em etapas iniciais de desenvolvimento não apresentam resultados positivos para uso quando sob treinamento em amostras com muita variação de características. Esta dicotomia faz parte do processo de aprimoramento e deve ser solucionada nos próximos anos, com o espelhamento das metodologias em outros países e a ampliação dos bancos de dados ³⁶.

É de suma importância perceber que 20,8% (n=5) dos artigos refletiu a necessidade de conceituar a fundamentação da utilização de IA e suas subdivisões para uso geral. Um estudo específico relatou a dificuldade de expor a metodologia utilizada em publicações na área de odontologia, visto que o manuseio de tecnologias específicas como estas não é de comum entendimento.

As limitações se baseiam na variabilidade em diversos aspectos. Quando há falta de padronização, é muito difícil obter resultados comprovados em equipamentos ou condições diferentes. Artigos como o de Kim et al. ²² e Mulgrew et al. ⁶ descrevem a preocupação em elaborar plataformas de uso simples e que não requeira componentes específicos ou forte poder de processamento, como o desenvolvimento web. Aqui, é importante destacar outro termo a ser inserido em ambientes relacionados a saúde: o Cloud Computing, que se define pelo uso de arquiteturas e plataformas em nuvem ³⁷.

Outros pontos relacionados a limitação dos algoritmos utilizados em contexto odontológico também barram a utilização clínica das ferramentas.

Estudos como os de Suhail ²⁷ e de Jung e Kim ⁸ apenas apresentam resultados considerados positivos quando sob análise em regiões ou pontos específicos dos elementos dentários ou das estruturas avaliadas. Como a criação dos algoritmos, como os de limiarização e de segmentação de estruturas, não foram treinados sob um banco de dados que pudesse identificar variações, é esperado que resultados sejam dependentes de uma etapa de aprendizado ainda não realizada ³⁸.

Apesar de proporcionar diversas vantagens comprovadas, há receio pelo uso da inovação, mesmo em resultados comprovados para validação clínica. A preferência por utilização de instrumentos manuais, como descrita por Kunz et al. ²³, é reflexo da assertividade ocasionada psicologicamente por constante uso com resultados positivos ¹. Tal situação também não é incomum quando observada em demais áreas do conhecimento que tiveram integração tecnológica ³⁹.

As publicações analisadas refletem na constante evolução da prática clínica no âmbito da odontologia. Ainda que seja perceptível os avanços e melhorias de diversas situações, é também notável a necessidade de ampliar a utilização e o conhecimento sobre os métodos de uso da inteligência artificial.

Apesar da variabilidade de resultantes, percebe-se a tendência em criação de instrumentos para predição de fatores como risco patológico e detecção de lesões por padrão consolidado. Uma estratégia bastante utilizada para isso é a limiarização, como feita por Chen et al. ¹⁸. Apesar de bastante eficaz, a enorme variabilidade de patologias, características dentárias e condições antes e pós-tratamento dificultam o aprendizado por máquinas quando há limitação no número de amostras ³⁶.

É necessário observar que as limitações encontradas refletem ainda pequenos fatores impeditores, como tamanho de amostra e problemáticas educacionais. Tais situações devem ser entendidas como desafios que não tendem a barrar o avanço da inserção da tecnologia e da inteligência artificial no campo da saúde, mas sim alcançar novas proposições e alternativas para novas pesquisas.

Limitações do estudo

A revisão integrativa tem seu papel como sintetizadora das publicações acerca de temáticas atuais com base na literatura. No entanto, com os termos de busca deste planejamento se limitaram a artigos escritos em inglês, espanhol e português, o número de publicações encontradas pode ter sido reduzido. Quanto aos termos MeSH usados, a tecnologia é ambígua e é possível que outras publicações usem palavras que fogem das definições de termos de entrada descritos. A escolha das bases de dados utilizadas foi feita para alcançar a maior quantidade possível de publicações, visto que outras bases estão indexadas na BVS e na WOS, por exemplo, mas há a possibilidade de demais publicações estarem presentes apenas em bases não atingidas.

CONCLUSÃO

A integração de sistemas de IA e ortodontia já apresentam ferramentas promissoras para uso clínico e educacional.

Algumas limitações descritas revelam a problemática de apresentar um novo universo a profissionais que, por vezes, têm sua formação majoritariamente prática e focada no aspecto restaurador e protocolado. A inserção de dispositivos tecnológicos e digitalização de metodologias consideradas como padrão para o cotidiano é uma barreira que deve levar tempo considerável para ser superada, mas que tem como seu único agente impedidor o próprio tempo.

É importante perceber a importância da heterogeneidade de amostra para solidificação de resultados para uso clínico de novos instrumentos, visto que o alcance a diferentes características de pacientes e dados é, muitas vezes, dificultado.

Apesar de demonstrar aplicabilidade satisfatória e resultados positivos comprovados em todos os experimentos e instrumentos criados nos estudos analisados, percebe-se fatores limitantes que impedem as inovações de serem utilizadas em público e pequenas problemáticas que barraram mesmo que indiretamente melhores resultados.

Os fundamentos que regem a prática da odontologia passam por modificações periodicamente, e percebe-se que há uma tendência de utilização de novas formas de obter resultados inovadores e já existentes, porém com maior agilidade, fidelidade, sem ocasionar danos ecológicos e biológicos. No entanto, é visível que a etapa atual é de virtualização do que já é feito, como o desenvolvimento de plataformas para cefalometria e outras medições de planejamento realizadas.

A IA ainda é uma novidade no escopo odontológico, mas que promete cada vez mais ser inserida no cotidiano e reformular conceitos já consolidados na literatura. Limitações como o acesso à informação tecnológica, custeio de material-base necessário e treinamento em larga escala devem ser superadas nos próximos anos, proporcionando revoluções no cuidado em saúde bucal.

Colaboradores

D. C. Carneiro foi responsável por toda descrição dos achados e pela elaboração das figuras inseridas. F. C. Sampaio e R. A. Menezes Júnior contribuíram com o delineamento da pesquisa e suas variáveis, análise dos dados e revisão final do artigo.

Informações adicionais

ORCID: Davi Clementino Carneiro (0000-0002-3529-2504); Fábio Correia Sampaio (0000-0003-2870-5742); Raimundo Aprígio Menezes Júnior (0000-0002-2311-1278).

Referências

1. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater.* 2012;28(1):3–12.
2. John McCarthy. Artificial intelligence, logic and formalizing common sense. *Philos Log Artif Intell.* 1990;161–90.
3. Bobich AM, Mitchell BL. Transforming Dental Technology Education: Skills, Knowledge, and Curricular Reform. *J Dent Educ.* 2017 Sep;81(9):59–64.
4. Blatz MB, Chiche G, Bahat O, Roblee R, Coachman C, Heymann HO. Evolution of Aesthetic Dentistry. *J Dent Res.* 2019 Nov;98(12):1294–304.
5. Shan T, Tay FR, Gu L. Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *J Dent Res.* 2021 Mar;100(3):232–44.
6. Mulgrew B, Drage K, Gardiner P, Ireland T, Sandy JR. An evaluation of the effects of a web-based modular teaching programme, housed within a virtual learning environment on orthodontic training for specialist registrars. *J Orthod.* 2009 Sep;36(3):167–76.
7. Yu X, Liu B, Pei Y, Xu T. Evaluation of facial attractiveness for patients with malocclusion A machine-learning technique employing Procrustes. *Angle Orthod.* 2014;84(3):410–6.
8. Jung S-K, Kim T-W. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149(1):127–33.

9. Ruz GA, Araya-Díaz P. Predicting Facial Biotypes Using Continuous Bayesian Network Classifiers. *Complexity*. 2018;2018:15.
10. Thanathornwong B. Bayesian-based decision support system for assessing the needs for orthodontic treatment. *Healthc Inform Res*. 2018;24(1):22–8.
11. Allareddy V, Rengasamy Venugopalan S, Nalliah RP, Caplin JL, Lee MK, Allareddy V. Orthodontics in the era of big data analytics. *Orthod Craniofac Res*. 2019 May;22 Suppl 1:8–13.
12. Dallora A, Anderberg P, Kvist O, Mendes E, Ruiz S, Berglund J. Bone age assessment with various machine learning techniques: A systematic literature review and meta-analysis. *PLOS ONE*. 2019 Jul 25;14(7).
13. Makaremi M, Lacaule C, Mohammad-Djafari A. Deep learning and artificial intelligence for the determination of the cervical vertebra maturation degree from lateral radiography. *Entropy*. 2019;21(12):1–24.
14. Park J, Hwang H, Moon J, Yu Y, Kim H, Her S, et al. Automated identification of cephalometric landmarks: Part 1-Comparisons between the latest deep-learning methods YOLOV3 and SSD. *ANGLE Orthod*. 2019 Nov;89(6):903–9.
15. Rao GKL, Srinivasa AC, Iskandar YHP, Mokhtar N. Identification and analysis of photometric points on 2D facial images: a machine learning approach in orthodontics. *Health Technol*. 2019;9(5):715–24.
16. Alalharith DM, Alharthi HM, Alghamdi WM, Alsenbel YM, Aslam N, Khan IU, et al. A deep learning-based approach for the detection of early signs of gingivitis in orthodontic patients using faster region-based convolutional neural networks. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(22):1–10.
17. Asiri S, Tadlock L, Schneiderman E, Buschang P. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics. *APOS TRENDS Orthod*. 2020 Jan;10(1):17–24.
18. Chen S, Wang L, Li G, Wu T-H, Diachina S, Tejera B, et al. Machine learning in orthodontics: Introducing a 3D auto-segmentation and auto-landmark finder of CBCT images to assess maxillary constriction in unilateral impacted canine patients. *Angle Orthod*. 2020;90(1):77–84.
19. Hung K, Yeung A, Tanaka R, Bornstein M. Current Applications, Opportunities, and Limitations of AI for 3D Imaging in Dental Research and Practice. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jun;17(12):18.

20. Hwang H, Park J, Moon J, Yu Y, Kim H, Her S, et al. Automated identification of cephalometric landmarks: Part 2-Might it be better than human? *ANGLE Orthod.* 2020 Jan;90(1):69–76.
21. Juneja M, Singla R, Saini S, Kaur R, Bajaj D, Jindal P. OCLU-NET for occlusal classification of 3D dental models. *Mach Vis Appl.* 2020 Jul 25;31(6).
22. Kim H, Shim E, Park J, Kim Y-J, Lee U, Kim Y. Web-based fully automated cephalometric analysis by deep learning. *Comput Methods Programs Biomed.* 2020;194:1–8.
23. Kunz F, Stellzig-Eisenhauer A, Zeman F, Boldt J. Artificial intelligence in orthodontics : Evaluation of a fully automated cephalometric analysis using a customized convolutional neural network. *J Orofac Orthop.* 2020;81(1):52–68.
24. Machoy M, Szyszka-Sommerfeld L, Vegh A, Gedrange T, Wozniak K. The ways of using machine learning in dentistry. *Adv Clin Exp Med.* 2020 Mar;29(3):375–84.
25. Pan Y, Chen S, Shen L, Pei Y, Zhang Y, Xu T. Thickness change of masseter muscles and the surrounding soft tissues in female patients during orthodontic treatment: A retrospective study. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):1–10.
26. Riri H, Ed-Dhahraouy M, Elmoutaouakkil A, Beni-Hssane A, Bourzgui F. Extracted features based multi-class classification of orthodontic images. *Int J Electr Comput Eng.* 2020;10(4):3558–67.
27. Suhail Y, Upadhyay M, Chhibber A, Kshitiz. Machine learning for the diagnosis of orthodontic extractions: A computational analysis using ensemble learning. *Bioengineering.* 2020;7(2):1–13.
28. Shin WS, Yeom H-G, Lee GH, Yun JP, Jeong SH, Lee JH, et al. Deep learning based prediction of necessity for orthognathic surgery of skeletal malocclusion using cephalogram in Korean individuals. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):1–7.
29. Kern SE, Jaron D. Healthcare technology, economics, and policy: an evolving balance. *IEEE Eng Med Biol Mag Q Mag Eng Med Biol Soc.* 2003 Feb;22(1):16–9.
30. Manocchia A. Telehealth: Enhancing Care through Technology. *R I Med J* 2013. 2020 Feb 3;103(1):18–20.

31. MacNeil M, Koch M, Kuspinar A, Juzwishin D, Lehoux P, Stolee P. Enabling health technology innovation in Canada: Barriers and facilitators in policy and regulatory processes. *Health Policy Amst Neth*. 2019 Feb;123(2):203–14.
32. Ayoub A, Pulijala Y. The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *BMC Oral Health*. 2019 Nov 8;19(1):238.
33. Pandrangi VC, Gaston B, Appelbaum NP, Albuquerque FC, Levy MM, Larson RA. The Application of Virtual Reality in Patient Education. *Ann Vasc Surg*. 2019 Aug;59:184–9.
34. Ongkosuwito EM, Katsaros C, Bodegom JC, Kuijpers-Jagtman AM. [Digital cephalometrics]. *Ned Tijdschr Tandheelkd*. 2004 Jul;111(7):266–70.
35. Molteni R. The way we were (and how we got here): fifty years of technology changes in dental and maxillofacial radiology. *Dento Maxillo Facial Radiol*. 2021 Jan 1;50(1):19.
36. Balki I, Amirabadi A, Levman J, Martel AL, Emersic Z, Meden B, et al. Sample-Size Determination Methodologies for Machine Learning in Medical Imaging Research: A Systematic Review. *Can Assoc Radiol J J Assoc Can Radiol*. 2019 Nov;70(4):344–53.
37. Sadoughi F, Erfannia L. Health Information System in a Cloud Computing Context. *Stud Health Technol Inform*. 2017;236:290–7.
38. Deo RC. Machine Learning in Medicine. *Circulation*. 2015 Nov 17;132(20):1920–30.
39. Pandey SK, Sharma V. Robotics and ophthalmology: Are we there yet? *Indian J Ophthalmol*. 2019 Jul;67(7):988–94.

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ressalta-se que o critério para detecção de cárie utilizado nesse estudo foi o da Organização Mundial da Saúde. Essa escolha foi determinada pois os dentistas brasileiros tiveram formação acadêmica durante a graduação em odontologia sobre esse índice e ele é o padrão utilizado nos levantamentos epidemiológicos de base populacional.

Apesar de bastante integrada em sua prática, o cirurgião-dentista não tem, majoritariamente, o domínio de ferramentas que envolvem o uso de tecnologia para a facilitação de suas atividades¹⁷. Diversas publicações acreditam que isto se dá pelo alto teor clínico fundamental para a formação básica e pela determinação considerada arcaica de vários instrumentos e metodologias executadas até hoje¹⁸⁻²⁰.

Os estudos de Patil²¹, Premkumar²² e Lee²³ apresentam desejáveis experiências relatadas por pacientes e profissionais após o uso de novas ferramentas em ambientes educacionais e clínicos. Tais experiências proporcionaram melhores tempos pós-operatórios, diagnósticos mais adequados, menores riscos gerais e, em uso acadêmicos, melhor assimilação de conhecimento pelos alunos.

A intenção de produção da ferramenta relatada parte dos resultados relatados na literatura científica, que apresentam a constante adaptação de todas as ciências, sejam artísticas, de natureza ou de saúde, para o meio digital²⁴. A odontologia ainda caminha seus passos iniciais nesse processo, mas já é perceptível os melhoramentos de metodologias e ferramentas contemporâneas²⁵.

O desenvolvimento do software para detecção automatizada de lesões iniciais de cárie passa ainda por constantes modificações, que o tornam cada vez mais usável pelo público-alvo, que são estudantes e profissionais da odontologia, que se tornarão parte-ativa do crescimento do banco de dados final.

A validação de qualquer instrumento é fundamental para sua inserção final em faculdades, clínicas-escola e ambientes de atendimento²⁶. É notável que o software cumpre os requisitos de uma tecnologia tanto educacional como em auxílio diagnóstico no que se refere à sua funcionalidade, usabilidade, precisão e custo total para uso futuro. As dificuldades solucionadas e outras ainda presentes

são desafios de qualquer tecnologia em desenvolvimento, ao ponto que outras aparecerão para constante evolução do equipamento.

O número de amostras representadas no capítulo 1, feita por conveniência, garantiu precisão e validade externa necessária para detecção suficiente de lesões de cárie em diversos estágios. No entanto, é impossível determinar um padrão mínimo ou máximo, visto que se trata de um banco de dados em aprendizado com cada dado inserido.

A utilização de luz fluorescente por meio de instrumentos adquiridos internacionalmente proporcionou o aprendizado e a visualização de campos de pesquisa não antes possíveis, e que refletiram na capacidade de produzir algo para acesso público, fortalecendo o conhecimento nacional e a inovação presente na odontologia.

Como limitantes deste estudo, destacamos inicialmente a falta de padronização na tomada fotográfica realizada, possivelmente prejudicando a análise de determinadas imagens, além da ausência de fotos de elementos de pacientes de outras idades, regiões e sob características clínicas diversas. A pandemia do COVID-19 impossibilitou a inserção de novas amostras, em visto da incapacidade de reunir novos pacientes para uma padronização de novas fotos.

Os achados atuais solidificam a possibilidade de detecção automatizada de lesões de cárie utilizando software de domínio próprio e em constante aprimoramento. É intencionado que os instrumentos em desenvolvimento alcancem uso em escala nacional, beneficiando todos os escopos da prática odontológica.

Portanto, o software atual se apresenta como uma ferramenta de uso positivo em ambientes de ensino-aprendizagem e de planejamento clínico para cirurgões-dentistas.

Outros planejamentos, como levantamentos da utilização mundial de inteligência artificial e suas variantes no cotidiano educacional e clínico da odontologia, novos instrumentos (como o apresentado no capítulo 1) de detecção e diagnóstico automatizado de lesões orais e a divulgação de ferramentas já disponíveis estão sendo produzidas pela equipe responsável da linha de pesquisa desta publicação, a fim de continuar os achados já consolidados.

Em nota final, o software de detecção automatizada de lesões iniciais de cárie é uma ferramenta que, apesar de sua constante evolução, irá proporcionar, de forma precisa e eficaz, otimização no processo diagnóstico de cárie dentária para todos os profissionais e alunos que a utilizem.

5. CONCLUSÃO

- A automatização do processo de detecção de lesões iniciais de cárie por meio de fotografias digitais gerou resultados positivos.
- A utilização de algoritmos opensource em fotografias dentárias, como os de limiar Otsu, Li, Mean e Minimum resultou na separação de demais estruturas que não são objetivo da análise.
- A separação dos canais de cor RGB e o uso do filtro HSB/HUE, bem como da escala de cinza são estratégias triviais que facilitam o processo de segmentação de estruturas dentárias.
- A padronização de tomadas fotográficas de elementos dentários é uma barreira ainda persistente, mas que abre possibilidades de transpasse e melhoramentos.
- A inserção de novas amostras para aprimoramento constante no banco de dados irá refletir em resultados mais precisos e eficazes.
- Integração tecnológica proporciona diversas limitações, mas abre horizontes para novas metodologias.
- Adaptação digital é uma etapa inevitável para qualquer área do conhecimento, e a odontologia passa por esse processo por meio da inovação tecnológica.

REFERÊNCIAS*

1. Polman C, Reingold S, Banwell B, Clanet M, Cohen J, Filippi M, et al. Diagnostic Criteria for Multiple Sclerosis: 2010 Revisions to the McDonald Criteria. *Ann Neurol*. 2011 Feb 1;69:292–302.
2. Tagliaferro E, Junior AV, Rosell FL, Silva S, Riley JL, Gilbert GH, et al. Caries Diagnosis in Dental Practices: Results From Dentists in a Brazilian Community. *Oper Dent*. 2019 Feb;44(1):E23–31.
3. Baelum V. What is an appropriate caries diagnosis? *Acta Odontol Scand*. 2010;68(2):65–79.
4. Blatz MB, Chiche G, Bahat O, Roblee R, Coachman C, Heymann HO. Evolution of Aesthetic Dentistry. *J Dent Res*. 2019 Nov;98(12):1294–304.
5. Filho JCBL, De Souza TR. Métodos de detecção de cárie: do tradicional às novas tecnologias de emprego clínico. *Rev Odontol Universidade Cid São Paulo*. 2017 Dec 7;23(3):253.
6. Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB. Dental caries. *Lancet*. 2007;369(9555):51–9.
7. Fejerskov O, Nyvad B, Kidd EAM. Dental caries : the disease and its clinical management. 3rd ed. Copenhagen, Denmark: Wiley - Blackwell; 2015. 466 p.
8. Abdullah Z, John J. Minimally Invasive Treatment of White Spot Lesions--A Systematic Review. *Oral Health Prev Dent*. 2016;14(3):197–205.
9. Mohd Said SNB, Ekambaram M, Yiu CKY. Effect of different fluoride varnishes on remineralization of artificial enamel carious lesions. *Int J Paediatr Dent*. 2017;27(3):163–73.
10. Abogazalah N, Ando M. Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. *J Oral Sci*. 2017;59(3):315–22.
11. Tandon D, Rajawat J. Present and future of artificial intelligence in dentistry. *J Oral Biol Craniofacial Res*. 2020;10(4):391–6.
12. Belle A, Kon MA, Najarian K. Biomedical Informatics for Computer-Aided Decision Support Systems: A Survey. *Sci World J*. 2013;2013:1–8.
13. Lin CS, Wu SY, Yi CA. Association between Anxiety and Pain in Dental Treatment. *J Dent Res*. 2017;96(2):153–62.
14. Baliga MS. Artificial intelligence - The next frontier in pediatric dentistry. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2019;37(4):315.
15. Corbella S, Srinivas S, Cabitza F. Applications of deep learning in dentistry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2020 Nov;S2212440320313213.
16. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: Current applications and future perspectives. *Quintessence Int*. 2020;51(3):248–57.

* De acordo com as normas do PPGO/UFPB, baseadas na norma do International Committee of Medical Journal Editors - Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

17. Bobich AM, Mitchell BL. Transforming Dental Technology Education: Skills, Knowledge, and Curricular Reform. *J Dent Educ.* 2017;81(9):eS59–64.
18. Akiyama M, Yamamoto S, Fujita K, Sakata I, Kajikawa Y. Effective Learning and Knowledge Discovery Using Processed Medical Incident Reports. *Portland Int Ctr Management Engn & Technol (PICMET)*; 2012. p. 2337–46.
19. Nayyar N, Ojcius DM, Dugoni AA. The Role of Medicine and Technology in Shaping the Future of Oral Health. *J Calif Dent Assoc.* 2020 Mar;48(3):127–30.
20. Mahmood A. Using Computer Images to identify the pathology of Tooth and the application of SVM Systems in Dentistry. *Res J Pharm Technol.* 2019;12(7):3537.
21. Patil V, Vineetha R, Vatsa S, Shetty DK, Raju A, Naik N, et al. Artificial neural network for gender determination using mandibular morphometric parameters: A comparative retrospective study. Jin Z, editor. *Cogent Eng [Internet]*. 2020 Feb 7;7(1).
22. PREMKUMAR J, J BJANNEY, NANDA A, DIVAKARAN S, LAVANYA, PAVITHRA. Detection of Caries in Dental X Ray Images using Multiclass SVM. *J Pharm Sci Res.* 2019;11(9):3264–8.
23. Lee J-H, Kim D-H, Jeong S-N, Choi S-H. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent.* 2018 Oct;77:106–11.
24. Joda T, Bornstein MM, Jung RE, Ferrari M, Waltimo T, Zitzmann NU. Recent Trends and Future Direction of Dental Research in the Digital Era. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Mar;17(6).
25. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater.* 2012;28(1):3–12.
26. Downer MC. Validation of methods used in dental caries diagnosis. *Int Dent J.* 1989 Dec;39(4):241–6.

ANEXO

Anexo 1 – Registro de Patente



10/11/2020 870200141901
17:10
29409191924361940

Pedido de Registro de Programa de Computador - RPC

Número do Processo: 512020002488-2

Dados do Titular

Titular 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 24098477000110

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Cidade Universitária

Cidade: João Pessoa

Estado: PB

CEP: 58059-900

País: Brasil

Telefone: (83) 32167558

Fax:

Email: inova@reitoria.ufpb.br

Dados do Programa

Data de Criação: 01/01/2020

- § 2º do art. 2º da Lei 9.609/98: "Fica assegurada a tutela dos direitos relativos a programa de computador pelo prazo de cinquenta anos contados a partir de 1º de janeiro do ano subsequente ao da sua publicação ou, na ausência desta, da sua criação"

Título: SDCIA - Sistema Autonomo de Detecção de Carie por I.A.

Algoritmo hash: SHA-512 - Secure Hash Algorithm

Resumo digital hash: B739013D0C287AFFE32F09D78DEFA9E4971188908037DC8052B
8B42C85CD975EB64B7DFFD3CCA07FB5E35636694BCE21FBB41
3AFAA5617C8BC1F13CB6656AEC3

§1º e Incisos VI e VII do §2º do Art. 2º da Instrução Normativa: O titular é o responsável único pela transformação, em resumo digital hash, dos trechos do programa de computador e demais dados

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 10/11/2020 às 17:10, Petição 870200141901

Anexo 2 – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento e avaliação de software (plataforma) para calibração de escores de cárie dentária e necessidade de tratamento

Pesquisador: Fabio Correia Sampaio

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 77962317.5.0000.5188

Instituição Proponente: Universidade Federal da Paraíba

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.688.110

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1121007_E1.pdf	24/04/2018 13:20:03		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Detalhado.docx	24/04/2018 13:01:11	Michelle Almeida Silva	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.PDF	01/10/2017 15:51:15	Michelle Almeida Silva	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	CertidaoNEPIBIO.pdf	01/10/2017 15:46:14	Michelle Almeida Silva	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	01/10/2017 15:45:42	Michelle Almeida Silva	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não