



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA EM SAÚDE

CHRISTOPHER BERWIG

A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DETECÇÃO DE LESÕES DE CÁRIE

Florianópolis

2023

CHRISTOPHER BERWIG

A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DETECÇÃO DE LESÕES DE CÁRIE

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Informática em Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Mestrado Profissional em Informática em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Gonçalves Silva

Florianópolis
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Berwig, Christopher

Inteligência artificial na detecção de lesões de cárie /
Christopher Berwig ; orientador, Alexandre Gonçalves Silva,
2023.

45 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Informática em
Saúde, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Cárie. 2. Inteligência artificial. 3. Detecção. 4. No-Code
Teachable Machine. I. Silva, Alexandre Gonçalves. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Informática em Saúde.
III. Título.

CHRISTOPHER BERWIG

A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DETECÇÃO DE LESÕES DE CÁRIE

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Vitor Schweigert Bona, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Ana Graziela Alvarez, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título Mestre em Informática em Saúde.

Profa. Dra. Sayonara de Fatima Faria Barbosa
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Alexandre Gonçalves Silva
Orientador

Florianópolis
2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos. Também por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho. Além disso, agradeço a Ele, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

A minha esposa Marina e meu filho Vicente, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho. Que também me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Alexandre Gonçalves Silva, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Aos demais professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso. Além disso por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

À Prefeitura Municipal de Navegantes pelo apoio e total disponibilidade fornecida para que eu pudesse realizar o curso.

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando. Também por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso. Além disso, pelo ambiente amistoso no qual convivemos e solidificamos os nossos conhecimentos, o que foi fundamental na elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma, para a realização deste trabalho.

A todos que participaram direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

A cárie dentária é uma enfermidade bucal que atinge uma grande parcela da população mundial, sendo a doença bucal mais recorrente e a maior responsável pela perda precoce dos elementos dentários. A associação de determinados fatores (microrganismos, dieta e hospedeiro), em um período, causam um processo bioquímico de desmineralização da superfície dental e conseqüentemente a perda de sua estrutura, tornando a mesma mais porosa, frágil e, à medida que avança pela estrutura dentária, cavitada. Este processo patológico de desmineralização da estrutura dentária denomina-se lesão de cárie. O diagnóstico das lesões de cárie é de suma importância, pois dependendo do nível que a doença se encontre tratamentos mais invasivos podem ser necessários para que a lesão seja eliminada. Sendo assim, o diagnóstico precoce das lesões de cárie torna o tratamento mais simples, rápido e menos oneroso. Os métodos de detecção de cárie comumente mais utilizados pelo cirurgião dentista são o método visual (boa visibilidade, secagem da estrutura dental com seringa tríplice e com iluminação artificial) associado a radiografias intrabucais (periapical e interproximal ou *bitewing*), principalmente para localizar lesões de cárie em regiões que estão visualmente encobertas como as regiões proximais da superfície dentária (mesial e distal). Alguns métodos mais sofisticados de diagnóstico de cárie dentária também podem ser citados, estes se baseiam na transiluminação por fibra ótica e fluorescência. A inteligência artificial surgiu nos últimos anos e tem se expandido por diversas áreas do cotidiano da população, a área da saúde tem sido uma das contempladas com os benefícios dessa tecnologia. Diversas ferramentas médicas utilizam inteligência artificial para apoiar profissionais em suas decisões clínicas nas mais diversas etapas dos processos de cuidado a saúde, tais como diagnóstico, tratamento e prevenção. A odontologia moderna pode se beneficiar do uso da inteligência artificial de diversas maneiras, áreas como a ortodontia podem utilizar aplicativos baseados em aprendizado de máquina para realizar estudo de medidas cefalométricas e potencializar tratamentos ortodônticos. Com o trabalho apresentado busca-se testar a utilização da inteligência artificial na detecção de lesões cariosas em superfícies dentais e servir como uma ferramenta adicional ao cirurgião dentista para ser utilizada no cotidiano dos profissionais e associá-la aos métodos tradicionais comumente utilizados. Para a realização do trabalho foram utilizadas 87 imagens selecionadas de plataforma *on-line* de *design* gráfico e banco de imagens denominado *VistaCreate*, após a seleção das imagens elas foram segmentas dando origem a 405 imagens que foram divididas em duas classes (cariadas e não cariadas). A partir dessas imagens um modelo de treinamento foi criado utilizando ferramenta de Inteligência Artificial (IA) *No-Code Teachable Machine*. Após isso, a acurácia dos resultados foi avaliada pela matriz de confusão.

Palavras-chave: cárie; inteligência artificial; detecção.

ABSTRACT

Dental caries is an oral disease that affects a large portion of the world's population, being the most recurrent oral disease and most responsible for the early loss of dental elements. The association of certain factors (microorganisms, diet and host), over a period, causes a biochemical process of demineralization of the tooth surface and consequently the loss of its structure, making it more porous, fragile and, as it advances through the tooth structure, cavitated. This pathological process of demineralization of the tooth structure is called a caries lesion. The diagnosis of caries lesions is extremely important, as depending on the level of the disease, more invasive treatments may be necessary for the lesion to be eliminated. There fore, early diagnosis of caries lesions makes treatment simpler, faster and less expensive. The caries detection methods most commonly used by dentists are the visual method (good visibility, drying of the tooth structure with a triple syringe and artificial lighting) associated with intraoral radiographs (periapical and interproximal or bitewing), mainly to locate caries lesions. in regions that are visually hidden, such as the proximal regions of the tooth surface (mesial and distal). Some more sophisticated methods for diagnosing dental caries can also be mentioned, these are based on fiber optic transillumination and fluorescence. Artificial intelligence has emerged in recent years and has expanded into various areas of the population's daily lives, the health sector has been one of those benefiting from the benefits of this technology. Several medical tools use artificial intelligence to support professionals in their clinical decisions at the most diverse stages of the health care processes, such as diagnosis, treatment and prevention. Modern dentistry can benefit from the use of artificial intelligence in several ways, areas such as orthodontics can use applications based on machine learning to study cephalometric measurements and enhance orthodontic treatments. The work presented seeks to test the use of artificial intelligence in the detection of carious lesions on dental surfaces and serve as an additional tool for the dental surgeon to be used in the daily lives of professionals and associate it with commonly used traditional methods. To carry out the work, 87 images were used selected from an online graphic design platform and image bank called VistaCreate. After selecting the images, they were segmented, giving rise to 405 images that were divided into two classes (decayed and non-decayed).). From these images, a training model was created using an Artificial Intelligence (AI) No-Code Teachable Machine tool. After that, the accuracy of the results was evaluated using the confusion matrix.

Keywords: caries; artificial intelligence; detection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplificação de segmentação de superfície dentária a ser analisada e classificação.....	p. 17
Figura 2 – Exemplificação de proposta de criação de modelo a partir do uso da ferramenta <i>Teacheable Machine</i>	p. 17
Figura 3 – Diagrama de NEWBRUM.....	p. 21
Figura 4 – Evolução das lesões de cárie dentária.....	p. 22
Figura 5 – Inspeção visual (avaliação sobre limpeza, secagem e boa iluminação).....	p. 23
Figura 6 – Exemplos de radiografia bucais (interproximal ou <i>bitewing</i>).....	p. 23
Figura 7 – Imagem um aparelho de diagnóstico FOTI e sua utilização.....	p. 24
Figura 8 – Método de diagnóstico de lesões de cárie.....	p. 24
Figura 9 – Principais aspectos da inteligência artificial.....	p. 26
Figura 10 – Código gerado por <i>Teacheable Machine</i> após o desenvolvimento do treinamento de modelo	p. 32
Figura 11 – Classificador <i>on-line</i> gerado a partir de código da plataforma <i>Teacheable Machine</i>	p. 32
Figura 12 – Classificador <i>on-line</i> em funcionamento.....	p. 33
Figura 13 – Matriz de Confusão	p. 36

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1 – Quadro comparativo entre classificação de superfícies cariadas por cirurgião dentista e classificador IA.....p. 34
- Quadro 2 – Quadro comparativo entre classificação de superfícies não cariadas por cirurgião dentista (*não cariados*) e classificador IA.....p. 35
- Quadro 3 – Cálculo da Matriz de Confusão com os dados obtidos na pesquisap. 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNS	Conselho Nacional de Saúde
CNN	Rede Neural Convolucional (<i>Convolutional Neural Network</i>)
DL	<i>Deep Learning</i>
ECM	Medição de Condutância Elétrica (<i>Electrical Conductance Measurement</i>)
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FN	<i>False Negative</i>
FP	<i>False Positive</i>
FOTI	Transiluminação por Fibra ótica (<i>Fiber Optic Transillumination</i>)
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IA	Inteligência Artificial
ICDAS	Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cáries (<i>International Caries Detections and Assenssment System</i>)
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
ODSI-DB	<i>Oral and Dental Spectral Image Database</i>
QLF	Quantificação da fluorescência induzida por luz (<i>Quantitative light-induced fluorescence</i>)
SMV	<i>Support Vector Machine</i>
TN	<i>True Negative</i>
TP	<i>True Positive</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivo específico.....	13
3 TEMÁTICA TEXTUAL.....	14
4 METODOLOGIA.....	16
4.1 Tipo de Estudo	16
4.2 Protocolo do Estudo	16
4.3 Aspectos éticos	18
4.4 Bibliografia –Revisão Integrativa de Literatura	18
4.4.1 A Cárie.....	18
4.4.2 Inteligência Artificial e Odontologia.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A cárie dentária é uma doença crônica causada por bactérias cariogênicas que metabolizam açúcares para produzir ácido, o que resulta na desmineralização dental ao longo do tempo. A condição de cárie dentária abrange tanto a doença quanto a lesão que a resulta, o processo de cárie ocorre no biofilme bacteriano, que permanece ativa a cada variação do pH bucal e a lesão se manifesta nos tecidos duros dentais (Rathee; Sapra, 2022).

A cárie dentária surge quando a microbiota do biofilme que habita a cavidade oral em equilíbrio muda para uma população acidófila, acidúrica e cariogênica, devido ao consumo frequente de açúcares. O resultado dessa alteração pode ser clinicamente invisível ou causar uma perda líquida de minerais nas estruturas duras dos dentes, o que resulta numa lesão clinicamente visível. Dessa forma, a cárie dentária é considerada uma doença dietética microbiana que requer um biofilme cariogênico e uma dieta rica em carboidratos fermentáveis (glicose, frutose, maltose e sacarose). Além disso, influências comportamentais, psicológicas e sociais também têm um papel significativo no desenvolvimento da doença. Um exemplo disso é o acesso da população a água e dentifrícios fluoretados, pois se sabe da capacidade que o flúor tem para prevenir essa doença e a falta de exposição a esse mineral também pode ser considerado um fator de risco para o desenvolvimento da cárie (Rathee; Sapra, 2022).

Segundo Zhang, Chu e Yu (2022), a cárie dentária é a doença bucal mais prevalente em todo mundo. A doença não tratada afeta cerca de 2,5 bilhões de adultos e 573 milhões de crianças em todo mundo, acarretando uma grande carga para os sistemas de saúde e a sociedade. Nos últimos 25 anos, a prevalência de cárie manteve-se elevada apesar dos esforços dos profissionais de saúde bucal para preveni-la.

Estudos bacteriológicos nos últimos anos auxiliaram a esclarecer o papel de vários microrganismos na etiologia da cárie dentária. Pode-se dar ênfase considerável em diversas interações entre dieta e bactérias, que estão envolvidas no desenvolvimento de lesões em superfícies dentárias. Microrganismos específicos, bem como combinações de microrganismos, incluindo: *Lactobacillus*, *S. Mutans* e *Actinomyces*, outros foram estudados. Sendo assim, há poucas dúvidas de que as bactérias são indispensáveis para a produção das lesões de cárie. Um ou mais organismos estão implicados no início da cárie, enquanto outros organismos distintos podem influenciar a progressão da doença (Shafer; Hine; Levi, 1983).

Os métodos mais utilizados pelos cirurgiões dentistas para identificar as lesões de cárie são o exame visual associado ao radiográfico. Nessa técnica, aspectos como textura, brilho e a cor das lesões são importantes para diferenciar as lesões ativas das inativas. Para

uma boa visualização das lesões de cárie é crucial que as superfícies dentárias estejam limpas, secas e bem iluminadas (Guimarães *et al.*, 2012).

Embora seja o método mais utilizado na prática clínica, a inspeção visual, essa pode ser associada a radiografias (analógicas ou digitais) especialmente para o diagnóstico de lesões iniciais em superfícies proximais e para determinar a profundidade de lesões oclusais. Além disso métodos mais sofisticados podem ser destacados como por exemplo: A

Transiluminação por Fibra Ótica (FOTI) –*Fiber Optic Transillumination*, a Quantificação da Fluorescência Induzida por Luz (QLF) – *Quantitative light-induced fluorescence* e a Medição de Condutância Elétrica (ECM) –*Electrical Conductance Measurement* (Soares *et al.*, 2012).

A inteligência artificial (IA) tem origem no campo da tecnologia da informação e incluem tecnologias cujos mecanismos são derivados de *softwares*, capazes de trazer benefícios por meio de seu uso em todas as esferas da sociedade. Na área médica, seu trabalho é muito promissor, inclusive na área odontológica. Em geral, na área médica, os métodos de prevenção podem ser aperfeiçoados e aprimorados, pois diagnóstico precoce pode ser alcançado, melhores resultados de tratamento podem ser obtidos. Na área odontológica, este recurso pode ser utilizado nas áreas de diagnósticos odontológicos, ortodontia, odontologia e radiografia odontológica, voltados para bons tratamentos e maior conforto para o paciente e dentista presente (Spezzia, 2022).

A odontologia terapêutica está aproveitando a IA em várias áreas, incluindo a detecção automatizada de doenças baseada em imagens e outros sistemas de suporte diagnóstico. A detecção de cárie em radiografias periapicais pode ser realizada usando um algoritmo de Rede Neural Convolutiva (CNN) baseado em aprendizado profundo. Isso pode ser útil para melhorar a detecção e diagnóstico de cárie na prática clínica odontológica. A IA também pode ajudar a detectar cáries proximais. Isso pode resultar em economia de custos devido à maior sensibilidade na detecção e prevenção de lesões precoces de cárie. Os algoritmos de IA baseados em CNN podem beneficiar os dentistas como sistemas de suporte à decisão clínica. Os sistemas *Deep Learning* (DL) CNN podem ser usados para numerar os dentes em radiografias e economizar tempo dos dentistas ao preparar automaticamente os registros dentários. Os modelos de IA podem servir como ferramentas poderosas no diagnóstico de cárie. A explosão no uso de IA na odontologia está se acelerando. Todos os requisitos necessários são atendidos, incluindo fluxo de trabalho digital com *bigdata* digital, agora disponível para treinar redes neurais avançadas. A opinião de muitos clínicos sobre o uso de IA em odontologia permanece altamente cética; eles a vêem como uma tendência

potencialmente exagerada e tratam a IA apenas como uma palavra da moda com credibilidade questionável e esgotam o potencial de fazer uma contribuição real para o crescimento futuro da área odontológica. A identificação objetiva de grandes quantidades de pesquisas odontológicas usando IA é um indicador objetivo do verdadeiro potencial da implementação da IA e uma avaliação de longo prazo que responde a perguntas importantes sobre o que a IA realmente significa para a área odontológica (Thurzo *et al.*, 2022).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Através de estudo e pesquisa busca-se avaliar a viabilidade da utilização da inteligência artificial (IA) na detecção de lesões sugestivas de cárie em elementos dentais.

2.2 Objetivo específico

O presente trabalho tem como objetivo específico a criação de ferramenta de detecção de lesões sugestivas de cárie em superfícies dentais baseada em Inteligência Artificial (IA) e avaliar o seu funcionamento.

3 TEMÁTICA TEXTUAL

A cárie é uma doença infecciosa crônica comum que ocorre em tecidos duros dentais. A cárie dentária e suas complicações podem agravar ou causar doenças sistêmicas que afetam seriamente a qualidade de vida das pessoas e causam grande ônus financeiro. De acordo com os acontecimentos atuais, ainda existem grandes desafios na prevenção e tratamento da cárie dentária. Primeiro, a incidência de cáries dentais ainda é muito alta. Os resultados do *Global Burden of Disease Study* publicado no *Lancet* em 2017 surpreenderam que entre 328 doenças, a cárie dentária permanente foi a primeira em frequência e a segunda em impacto. Cerca de 2,44 bilhões de pessoas em todo o mundo sofrem de cárie dentária permanente (Cheng *et al.*, 2022).

Dos aspectos etiológicos da cárie dentária, podem-se citar os fatores necessários para o desenvolvimento da cárie (biofilme nos dentes), determinantes (exposição ao açúcar) e moduladores (biológicos e sociais) (Araújo *et al.*, 2020).

Devido à sua etiologia multifatorial, a cárie está associada a vários fatores, como comportamento, fatores ambientais e socioeconômicos, hábitos alimentares, atendimento odontológico familiar e histórico médico, experiência anterior de cárie e falta de serviços odontológicos (Silveira *et al.*, 2021).

Os profissionais usam uma variedade de ferramentas para diagnosticar cáries, incluindo raios-x, luz visível, lasers, correntes de elétrons e ultrassom. Na prática rotineira, o diagnóstico de cárie é baseado principalmente em observações clínicas usando espelhos dentários, iluminação artificial de refletores, radiografias e o Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS) (Araújo *et al.*, 2020).

Um sistema de detecção de cárie ideal deve permitir o diagnóstico de cárie em um estágio inicial e melhorar a decisão sobre o plano de tratamento adequado. O sub tratamento é um potencial problema de saúde pública odontológica, o tratamento excessivo aumenta os custos odontológicos e pode prejudicar a saúde bucal (Araújo *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, a Inteligência Artificial (IA) recebeu enorme atenção e evoluiu para ser um dos principais motores não só da vida moderna, através da Siri, Alexa, *Google* etc., mas também da medicina. Em todos os negócios, a IA e as inovações associadas estão cada vez mais difundidas e começam a ser aplicadas na área da saúde. Essas tecnologias são capazes de mudar muitos aspectos da assistência médica, bem como estruturas administrativas em hospitais, entidades pagadoras e organizações farmacêuticas. Embora seja uma tecnologia nova, a IA tem sido cada vez mais utilizada em diferentes especialidades médicas para

diagnosticar condições, interpretar resultados e ajudar os profissionais de saúde a obterem melhores tratamentos (Mohamed *et al.*, 2022).

Assim como em outras áreas, a Inteligência Artificial vem ganhando força na odontologia nos últimos anos. Do ponto de vista odontológico, as aplicações de IA podem ser classificadas em diagnóstico, tomada de decisão, planejamento de tratamento e previsão de resultados de tratamento. De todas as aplicações da Inteligência Artificial na odontologia, a mais popular é o diagnóstico. A Inteligência Artificial pode fazer diagnósticos mais precisos e eficientes, o que reduz a carga de trabalho dos dentistas. Primeiro, os dentistas dependem cada vez mais de programas de computador para tomar decisões. Por outro lado, os programas de computador odontológico estão se tornando cada vez mais inteligentes, precisos e confiáveis. A pesquisa de Inteligência Artificial se espalhou para todas as áreas da odontologia (Ding *et al.*, 2023).

A IA é usada principalmente na odontologia para tornar o processo de diagnóstico mais preciso e eficiente, o que é fundamental para alcançar melhores resultados para os pacientes e atendimento de maior qualidade. O dentista deve usar todo o seu conhecimento prévio para fazer um diagnóstico e determinar o melhor tratamento. Eles também precisam fazer previsões onde são necessárias habilidades precisas de tomada de decisão clínica. No entanto, às vezes, os dentistas não têm conhecimento suficiente para tomar as decisões clínicas corretas em um período limitado. Os aplicativos de IA podem ajudá-lo a tomar melhores decisões e melhorar o desempenho (Khanagar *et al.*, 2021).

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo de Estudo

O trabalho realizado trata de um estudo metodológico, de produção tecnológica. A afirmação descrita acima se justifica, pois, a produção tecnológica é caracterizada pela comunidade científica através da produção de produtos e processos tecnológicos que visam contribuir para a solução de problemas práticos. A produção tecnológica geralmente visa atender às necessidades da sociedade por meio da criação de invenções, que por sua vez influenciam o desenvolvimento tecnológico, econômico e social. O espaço tecnológico ou ambiente de produção tecnológica faz parte do conjunto da ciência, tecnologia e informação. Este ambiente é assim chamado porque usa tecnologia para criar produção de tecnologia. Exemplos desse trabalho incluem patentes, manuais, métodos, técnicas e processos de produção e relatórios de pesquisa (Serzedello; Tomaél, 2023).

A concepção da tecnologia desenvolvida neste estudo constou de duas etapas especiais: bibliográfica e experimental (pesquisa metodológica e produção técnica). A fase bibliográfica consistiu em uma revisão integrada da literatura e as informações obtidas nesta fase subsidiaram o desenvolvimento de uma ferramenta de classificação da cárie.

4.2 Protocolo do Estudo

A metodologia proposta e utilizada no presente estudo passa a ser descrita a seguir. Inicialmente foram pesquisadas em ferramenta de design gráfico denominada *VistaCreate*¹, disponibilizada *on-line*, imagens de elementos dentários tanto hígidos (sem cáries) quanto cariados. Para isso utilizou-se os termos ‘*dental caries*’, ‘*oral pictures*’, ‘*tooth*’, ‘*teeth*’, ‘cáries dentais’, ‘fotografias intraorais’ e ‘dentes’. Após isso, foram selecionadas 87 imagens as quais apresentam elementos dentários cariados, hígidos, restaurados, além das demais estruturas dentárias como lábios, língua, mucosa gengival e jugal e outras estruturas orais. Essas 87 imagens selecionadas foram segmentadas utilizando software de edição de imagens (*Microsoft Paint*) a fim de excluir da imagem estruturas orais tais como língua, palato, mucosas orais, elementos dentários contíguos ou antagonistas e abranger apenas a superfície

¹<https://create.vista.com/pt/>

dentária a ser analisada. As imagens segmentadas foram divididas em duas classes distintas: 1 - Superfície cariada; 2 – Superfície não cariada.

Figura 1 - Exemplificação de segmentação de superfície dentária a ser analisada e classificação; a) imagem original; b) imagem obtida após segmentação



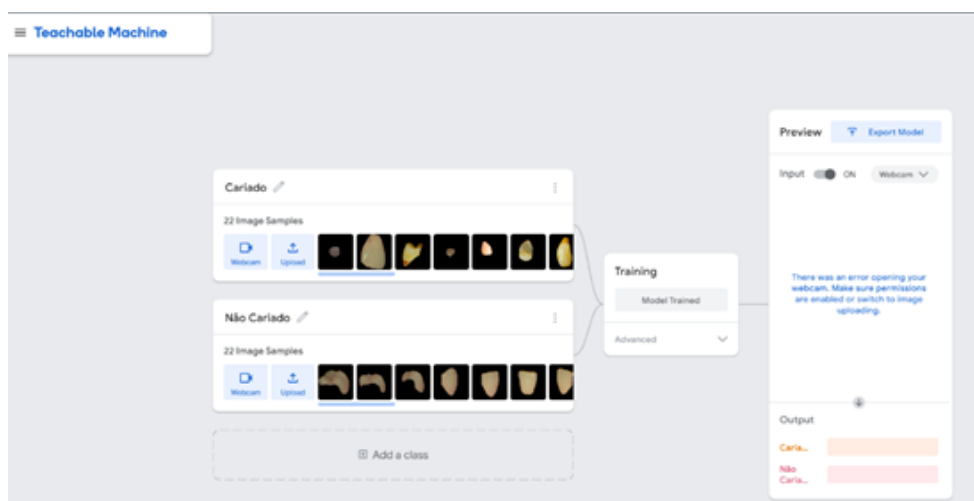
Fonte: Hardinmd (2023)

Após a segmentação e classificação das imagens foram obtidas 202 imagens segmentadas classificadas como **1 – superfície cariada**; e 203 imagens segmentadas classificadas como **2 – superfície não cariada**; totalizando 405 imagens segmentadas.

Observar figura 1.

Essas 405 imagens segmentadas e classificadas em: 1-Superfície cariada (202 imagens); 2 – Superfície não cariada (203 imagens) foram adicionadas a ferramenta de Inteligência Artificial *No-Code Teachable Machine*²a fim de treinar um modelo para detecção de cáries em superfícies de elementos dentais. Observar figura 2:

Figura 2 - Exemplificação de proposta de criação de modelo a partir do uso da ferramenta *Teachable Machine*



Fonte: Hardinmd e ODSI-DB (2023)

²<https://teachablemachine.withgoogle.com>

Para realizar o modelo de teste utilizou-se imagens selecionadas de dois bancos de dados distintos e de uso livre, *Hardin MD: Oral Disease Pictures*³e *ODSI-DB – Oral and Dental Spectral Image Database*⁴. Das imagens dos bancos de dados descritos anteriormente derivaram 54 imagens segmentadas, classificadas em **1 – Cariados**(32 imagens) e **2 – Não cariados** (22 imagens).

4.3 Aspectos éticos

Este estudo é realizado respeitando os aspectos éticos contidos na Resolução nº 196, de 10 de outubro de 1996 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), que regulamenta as pesquisas em seres humanos e assegura aos participantes do estudo o anonimato, a privacidade e a possibilidade de desistência em qualquer etapa da pesquisa (Brasil, 1996).

A base de imagens, necessária a este estudo, é adquirida, de modo *on-line*, pela ferramenta de design gráfico *VistaCreate*⁵, servindo apenas para o treinamento e teste do modelo. Portanto, as identidades dos pacientes são desconhecidas e, além disto, as imagens são totalmente omitidas do texto. As imagens exibidas no documento são oriundas da base de imagens *Hardin MD: Oral Disease Pictures* e *ODSI-DB – Oral and Dental Spectral Image Database*, disponibilizadas publicamente, ou adquirida por meio de fotografias da arcada dentária do próprio autor.

4.4 Bibliografia –Revisão Integrativa de Literatura

4.4.1 A Cárie

A cárie dentária é uma enfermidade presente no interior da cavidade bucal humana, que é causada por diferentes classes de bactérias. As lesões de cárie são responsáveis por um dano permanente na superfície dos elementos dentários acometidos, o qual se traduz no aparecimento de cavidades nos mesmos. Sendo assim é importante que o tratamento seja realizado o mais rápido possível para evitar que danos maiores possam acometer as superfícies dentárias. O exame para detecção de cárie dentária é realizado, tradicionalmente,

³<https://web.archive.org/web/20170213170558/http://hardinmd.lib.uiowa.edu/dentpictures2.html>

⁴<https://sites.uef.fi/spectral/odsi-db/>

⁵<https://create.vista.com/pt/>

através da visualização direta do examinador (cirurgião dentista) associado a utilização de radiografias intrabucais (Gonsalves, 2017).

Dentes saudáveis, ou seja, sem cáries são livres de descoloração e destruições do esmalte e da dentina. Sendo assim a observação visual da descoloração e textura dos dentes são fatores que o cirurgião dentista clínico confia fortemente no diagnóstico de cárie dentária. A abordagem para diagnóstico de cárie dentária, diagnóstico e tratamento de lesões cariosas variam devido à diferença de avaliação entre diferentes cirurgiões dentistas (Berdouses *et al.*, 2015).

O desenvolvimento da doença cárie é resultado da ação de ácidos do metabolismo de carboidratos por bactérias presentes no meio bucal (*Streptococcus mutans* *Lactobacillus*), causando perda mineral da superfície dos elementos dentários acometidos. Embora as cavidades dentárias sejam geralmente reconhecidas como os sinais definitivos da cárie dentária, essas são apenas os estágios mais avançados e irreversíveis da doença em questão. Em estágios iniciais, as lesões de cárie dentária são caracterizadas por uma mudança na aparência da superfície do elemento dentário, de brilhante e clara (esmalte sadio), para áspera, esbranquiçada e opaca. Essa característica é resultado da perda de conteúdo mineral das superfícies e subsuperfícies do esmalte, e é tão distinta que as lesões nessa fase também são chamadas de “manchas brancas” (Kohara *et al.*, 2018).

É importante, para se entender a doença cárie, que se determinem os fatores etiológicos envolvidos no seu desenvolvimento, os quais são descritos a seguir:

a) Hospedeiro: Compreendido pelos elementos dentários e pela saliva. Algumas condições dos elementos dentários podem favorecer o dificultar o aparecimento de lesões de cárie como restaurações mal executadas ou fraturadas, anatomia dental (presença de fôssulas e fissuras em faces oclusais dos elementos dentários), próteses mal adaptadas (coroas ou próteses removíveis). Esses fatores chamados de fatores retentivos de placa. Já a saliva possui a chamada capacidade “tampão”, pois na sua composição estão presentes íons de bicarbonato e fosfato que têm a capacidade de neutralizar os ácidos produzidos por micro-organismos cariogênicos. Além disso, ela tem capacidade de autolimpeza das superfícies dentárias e possui ação antibacteriana por conter imunoglobulinas e proteínas que atuam contra os microrganismos cariogênicos;

b) Microrganismos: presentes na cavidade bucal, os *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus* e *Lactobacillus*, essas bactérias são capazes de produzir ácidos através da fermentação de carboidratos presentes na dieta e esses ácidos levam a um desequilíbrio do

pH bucal. O resultado desse processo é um desequilíbrio no processo de des-remineralização das superfícies dentárias e conseqüentemente o aparecimento de lesões de cárie;

c) Dieta: a dieta exerce um papel crucial no processo de formações de lesões de cárie, pois sem a presença de carboidratos os microrganismos não possuem a capacidade de produzir ácidos que causaram a desmineralização das superfícies dentárias. Além disso, a frequência da ingestão de carboidratos ou açúcares também é importante, pois, quanto mais frequente, maior o volume de substrato para que as bactérias produzam ácidos com potencial de prejudicar os dentes presentes na cavidade bucal;

d) Tempo: os três fatores citados nos tópicos anteriores, quando associados, necessitam de um período para que haja a desmineralização das superfícies dentárias e lesões de cárie se instalem.

A classificação do estágio das lesões da doença cárie dentária é importante, pois, o tratamento proposto será diferente conforme o nível de comprometimento da unidade dentária. Por isso o diagnóstico torna-se extremamente necessário para que lesões de cárie que estejam em estágios iniciais e, sendo assim, haverá a possibilidade de remineralização/paralisação não sejam desnecessariamente restauradas. Além disso, se o tratamento for centrado nas lesões pela simples restauração das cavidades e não nos fatores etiológicos das doenças, haverá a criação de um “ciclo restaurador repetitivo”, o que leva a um fracasso no controle da referida doença.

As lesões de cárie podem, como dito anteriormente apresentar-se das mais diversas formas desde lesões de mancha branca (presente no esmalte) em estágios iniciais, até cavitações em dentina com tecido amolecido e enegrecido com presença de exposição da polpa coronária, como em casos mais avançados. É importante avaliar, além do estágio da lesão da doença cárie, a sua atividade, ou seja, se ela se encontra ativa ou inativa. Para isso durante o diagnóstico visual é importante que o elemento ou superfície dentária avaliada encontre-se limpo, seco e bem iluminado (Braga *et al.*, 2008).

dentárias parcialmente seladas podem estar associadas a maior risco de desenvolver cárie em comparação com dentes hígidos ou totalmente selados (Ismail; Gagnon, 1995).

O segundo critério avaliado é a classificação do estado de cárie seguindo uma escala ordinal, onde as superfícies do dente podem ser sãs ou possuírem alterações visuais que classificam o estágio de acometimento da lesão e indicam a progressão e profundidade da doença: 0 = nenhuma ou sutil alteração na translucidez do esmalte após secagem prolongada (5s) em área de acúmulo de placa; 1 = mancha branca visível após secagem, sem perda de continuidade superficial ou pigmentação restrita ao fundo de sulco; 2 = mancha branca visível em superfície úmida, sem perda de continuidade superficial, ou pigmentação que extrapola fundo de sulco (mancha marrom); 4 = sombreamento em dentina em dentina subjacente; 5 = cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente, envolvendo até metade da superfície analisada; 6 cavitação em esmalte opaco ou pigmentado com exposição da dentina subjacente, envolvendo mais da metade da superfície analisada. Quanto maior o escore maior a profundidade e severidade da lesão de cárie presente na superfície dentária analisada (Braga *et al.* 2018; Ismail *et al.*, 2007).

Figura 4 - Evolução das lesões de cárie dentária



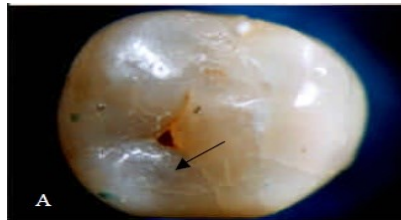
Fonte: Braga (2008)

a) Lesão de mancha branca ativa em esmalte: caracteriza-se por um esmalte branco, rugoso e poroso; b) Lesão de mancha branca inativa em esmalte: caracteriza-se por um esmalte brilhoso (branco ou escurecido), liso e polido; c) Lesão cavitada em dentina ativa: caracteriza-se pela presença de tecido amolecido com coloração amarelada ou acastanhada, aspecto úmido e opacidade no esmalte adjacente; d) Lesão cavitada em dentina inativa: caracteriza-se pela presença de tecido endurecido no fundo da lesão, presença de coloração amarronzada ou enegrecida, aspecto seco e brilhante e opacidade no esmalte adjacente com aspecto inativo; e) Lesão cavitada ativa que atingiu o órgão pulpar, causando a exposição da mesma.

A realização do correto diagnóstico é de suma importância, pois a partir da classificação do estágio da lesão de cárie existira uma gama de tratamentos distintos, por isso é importante a realização de um exame que seja o mais preciso possível a fim de evitar um

diagnóstico incorreto levando a realização de tratamentos desnecessários ou então insuficientes para uma determinada lesão de cárie que se apresenta. Os cirurgiões dentistas comumente e tradicionalmente utilizam o método visual para detecção e classificação do estágio de lesões de cárie presentes nos elementos dentários analisados. Esse método consiste na avaliação da superfície dentária através de observação direta após limpeza, boa iluminação e secagem (método visual) a fim de verificar visualmente presença de manchas, opacidade, alteração de coloração etc. Associadas ao exame visual, também se pode citar o emprego de radiografias bucais como método de diagnóstico de lesões de cárie, dentre as mais comumente utilizadas estão radiografias periapicais e interproximais ou *bitewing* (Sousa, 2000).

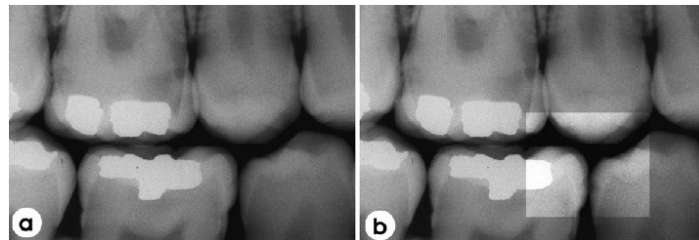
Figura 5 - Inspeção visual (avaliação sobre limpeza, secagem e boa iluminação)



Fonte: Sousa (2000)

A) visual (avaliação sobre limpeza, secagem e boa iluminação).

Figura 6 - Exemplos de radiografia bucais (interproximal ou *bitewing*)



Fonte: Pretty (2006)

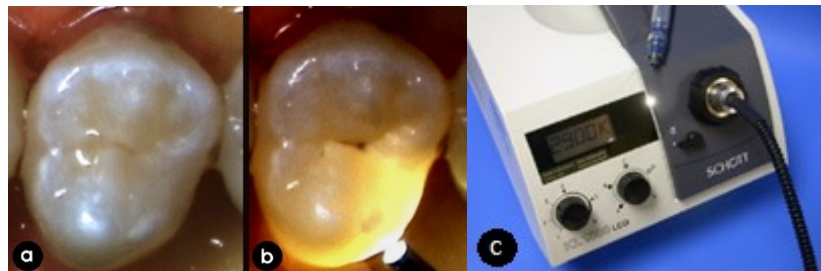
Essas podem ser obtidas de forma analógica (podendo ser digitalizadas posteriormente) ou de maneira digital; **a)** radiografia interproximal ou *bitewing*; **b)** radiografia interproximal ou *bitewing* com retângulo evidenciando região acometida por lesão de cárie em esmalte.

O exame visual e classificação das lesões conforme a profundidade e severidade é o método de detecção de primeira escolha utilizado pelos cirurgiões dentistas, sendo amplamente estudado e utilizado ao longo de décadas. Porém, a inspeção visual convencional, não fornece um registro físico dos dentes examinados, em comparação com outros métodos, como a radiografia odontológica por exemplo. O uso de métodos mais modernos, como a

fotografia, pode trazer um avanço considerável no ensino odontológico pois, possibilita a discussão de situações clínicas à distância por meio do compartilhamento de resultados de exames com profissionais e/ou alunos de diferentes regiões. Além disso, os serviços de saúde estão adotando gradativamente o conceito de Telessaúde e Teleodontologia, com resultados animadores principalmente em ensino e diagnóstico (Kohara *et al.*, 2018; Mariño; Ghanim, 2013).

Métodos mais sofisticados de diagnóstico de lesões de cárie dentária compreendem métodos visuais aprimorados baseados no fenômeno da dispersão de luz. Este método é chamado de Transiluminação de Fibra Ótica (FOTI e DiFOTI). Além de métodos baseados em dispersão da luz, pode-se citar, dentre os métodos mais sofisticados, a Fluorescência Induzida por Luz Qualitativa (QLF) que utiliza luz fluorescente (verde e vermelha) para detectar e monitorar a progressão de lesões cariosas. Esse método também pode determinar se a atividade da lesão e prever sua provável progressão (Pretty, 2006).

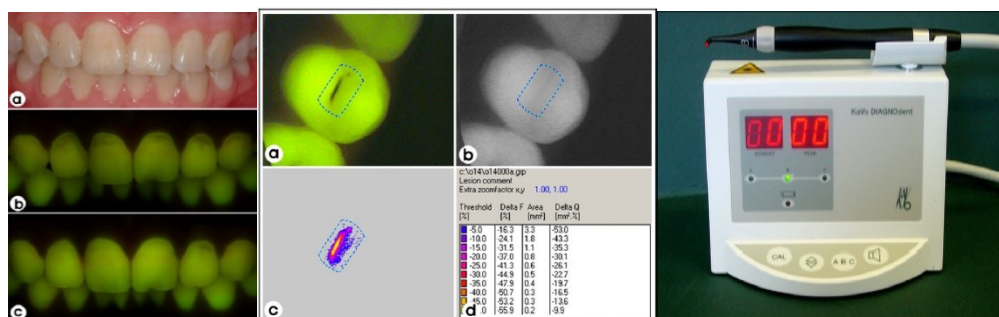
Figura 7 - Imagem um aparelho de diagnóstico FOTI e sua utilização



Fonte: Pretty (2006)

Na figura **a** o elemento dentário encontra-se limpo e seco e apenas com iluminação natural. Já na figura **b** existe o emprego da transiluminação de fibra ótica. Na figura **c** exemplifica-se um aparelho de diagnóstico FOTI.

Figura 8 - Método de diagnóstico de lesões de cárie



Fonte: Pretty (2006)

Nas imagens acima exemplifica-se um método de diagnóstico de lesões de cárie baseadas em Fluorescência Induzida por Luz Quantitativa (QLF).

No campo da cariologia, a utilização de fotografias para diagnóstico de cárie dental, pode se tornar desafiador pois, caso utilize-se técnica inadequada ou equipamento de baixa qualidade podem-se gerar imagens de baixa qualidade e, em consequência, diagnóstico incorreto e falha na decisão de tratamento (Kohara *et al.*, 2018).

4.4.2 Inteligência Artificial e Odontologia

A inteligência Artificial (IA) é um termo amplamente utilizado e possui uma definição precisa, que em geral, se resume a um conjunto de algoritmos que simulam os processos da inteligência humana para resolver problemas do cotidiano. Essa tecnologia vem ao longo dos últimos anos sendo utilizada na sociedade, seja pela utilização de assistentes inteligentes como a “Alexa” ou “Siri” ou então em casos mais técnicos e específicos como a utilização de aplicativos baseados em Inteligência Artificial (IA) em projetos de engenharia.

Na área médica, algoritmos de processamento de imagens médicas baseados em IA estão vastamente sendo utilizados. Um exemplo que pode ser citado é a utilização desses modelos em radiografias de pacientes portadores de COVID – 19, diminuindo assim, o tempo de diagnóstico da imagem e a decisão de tratamento clínico. (Bernauer; Zitzmann; Joda, 2021).

No mundo moderno, a inteligência artificial refere-se a máquinas ou tecnologias que podem imitar as habilidades cognitivas humanas, como a resolução de problemas. Para entender a IA, é importante conhecer alguns aspectos importantes:

- A inteligência artificial é a capacidade das máquinas de exibir alguma forma de inteligência própria. O objetivo era desenvolver uma máquina que pudesse aprender com os dados e resolver problemas;

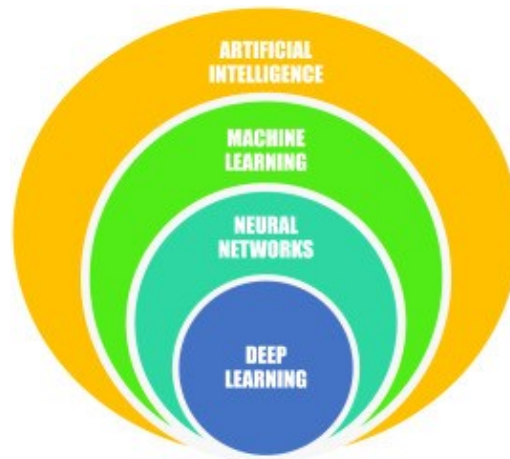
- O aprendizado de máquina é a parte da IA que depende de algoritmos para prever resultados com base em conjuntos de dados. O objetivo do aprendizado de máquina é ajudar as máquinas a aprenderem com dados e resolver problemas sem intervenção humana;

- Redes neurais são um conjunto de algoritmos que usam neurônios artificiais para calcular sinais. O objetivo das redes neurais é criar redes neurais que funcionem como o cérebro humano;

- O aprendizado profundo é um componente do aprendizado de máquina que analisa dados de entrada usando interconexões com várias camadas computacionais em redes neurais

profundas. O objetivo do aprendizado profundo é construir redes neurais que reconhecem padrões automaticamente e melhoram o reconhecimento de recursos. O aprendizado profundo também é conhecido como redes neurais convolucionais. Eles coletam recursos da camada abstrata de filtros e são usados principalmente para processar imagens grandes e complexas (Khanagar *et al.*, 2021).

Figura 9 - Principais aspectos da inteligência artificial



Fonte: Khanagar *et al.* (2021)

A inteligência artificial (IA) é uma tecnologia que utiliza máquinas para imitar o comportamento humano inteligente. Para apreciar a interação homem-tecnologia no ambiente clínico, a inteligência aumentada foi proposta como uma extensão cognitiva da IA na área de saúde, enfatizando seu papel auxiliar e complementar aos profissionais médicos. Em alguns casos, muitos específicos já existem equipamentos e algoritmos de IA aprovados pela *Food and Drug Administration* (FDA), sendo assim esses componentes possuem potencial de utilização no campo da odontologia. Por causa de seus poderosos recursos em análise de dados, esses algoritmos devem melhorar a precisão e eficácia do diagnóstico odontológico, fornecer orientação anatômica visualizada para tratamento, simular e avaliar resultados prospectivos e projetar a ocorrência e prognóstico de doenças bucais (Shan; Tay; Gu, 2020).

Trabalhos de autores como Moutselos *et al.* (2019), com base de 88 imagens intraorais (oclusais) ao vivo obtidas com uma câmera intraoral, mostraram que um modelo de *deeplearning* (Máscara R-CNN) pode detectar e classificar 7 classes de cáries oclusais baseado no Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cáries (ICDAS). Sendo realizado sem qualquer método de pré-processamento de imagem e utilizando a segmentação de *superpixels* para as anotações dos especialistas e avaliação do classificador. Segundo trabalho de

Moutselos *et al.* (2018) escrito em 2018, os *superpixels* dividem a imagem em segmentos homogêneos, facilitando a extração de recursos e mapeamentos semânticos, reduzindo significativamente as complexidades computacionais. Por essas razões, os *superpixels*, são cada vez mais utilizados no processamento de imagens biomédicas (Moutselos *et al.*, 2019).

Outros autores como por exemplo Navarro *et al.* (2019), apresentaram métodos para diagnóstico de cárie dentária em superfície lisa a partir de imagens fotográficas capturadas com *smartphones*. O estudo em questão utilizou 45 imagens (sendo 30 de treinamento e 15 de teste), extraíndo 100 regiões de interesse e gerando um total de 7654 vetores de recursos usados para treinamento do modelo. Para melhorar a qualidade geral da imagem, a Equalização de Histograma foi usada no conjunto pré-processamento, aprimorando o contraste entre regiões saudáveis e regiões de cárie.

Os autores também fizeram uso dos seguintes recursos de aprimoramento de imagens: intensidade, gradiente, matiz, saturação e entropia, além de utilizar um conjunto de recursos para os algoritmos de aprendizado de máquina como *Support Vector Machine* (SMV) e Árvore de Decisão. Sendo possível, durante a fase de treinamento, utilizando as tecnologias acima descritas uma precisão de 82 a 97% na classificação entre regiões de *pixels* saudáveis e cariados. (Navarro *et al.*, 2019).

Na odontologia destacam-se algumas áreas que se beneficiam da utilização da IA, pode-se destacar o processamento de dados de imagens em fluxos de trabalhos radiológicos, principalmente para detecção de cáries e lesões endodônticas periapicais, bem como identificar e classificar automaticamente sistemas de implantes orais (Bernauer; Zitzmann; Joda, 2021).

O aprendizado de máquina ou *Machine Learning* (ML) é uma aplicação da IA que fornece aos sistemas a capacidade de aprender e melhorar automaticamente a partir da experiência. Para ser executado, o aprendizado de máquina, necessita dados de entrada, como imagens ou texto, para obter uma saída por meio de um modelo. (Prados-Privado *et al.*, 2020).

As redes neurais artificiais ou *artificial neural network* podem ser classificadas de acordo com a sua tipologia ou estrutura de rede ou de acordo com seu algoritmo de aprendizado. De acordo com a sua topologia, pode-se distinguir, como característica de uma rede, o número de camadas; tipo de camadas, podendo essas serem ocultas ou visíveis; entrada ou saída; e a direcionalidade das conexões dos neurônios. Dependendo da tipologia, podemos distinguir as redes em monocamadas ou multicamadas (Prados-Privado *et al.*, 2020).

A forma mais convencional do aprendizado de máquina é o aprendizado supervisionado. Para trabalhar com imagens, faz-se necessário, em primeiro estágio, realizar

uma coleta de um grande conjunto de imagens e, num segundo momento, rotular cada categoria em cada imagem, no caso de cáries dentárias, por exemplo, realizar o diagnóstico de lesões sugestivas de cárie por um cirurgião dentista. Em seguida inicia-se o processo de treinamento, o usuário alimenta os dados para a rede, os mesmos passam pela rede e uma saída é calculada com base no conjunto atual de pesos do modelo. Para obter a melhor pontuação de todas as categorias, uma função objetivo para medir o erro é calculada. Em seguida, o algoritmo modifica seus parâmetros internos para ter a pontuação mais alta em todas as categorias. Por fim, após a fase de treinamento, o desempenho do sistema é medido em um conjunto diferente de imagens chamado conjunto de dados de teste (Prados-Privado *et al.*, 2020).

As redes neurais convolucionais (CNN) são um tipo de rede profunda e *feedforward* (alimentação avante/controlada por antecipação/pré-alimentação). As CNNs são projetadas para realizar o processamento de dados que vem na forma de vários *arrays* (lista de objetos) como imagens, e sua estrutura é composta por vários estágios (Prados-Privado *et al.*, 2020).

Na odontologia, a inteligência artificial, é utilizada para identificar e detectar diferentes variáveis de imagens, como dentes, cáries e implantes. O aprendizado profundo demonstrou ser uma boa coleção de técnicas para auxiliar em áreas médicas importantes como a radiologia (Prados-Privado *et al.*, 2020).

Um tipo particular de *Deep Learning* (DL) envolve CNNs. As CNNs são utilizadas principalmente para processar dados de imagens grandes e complexas, pois são capazes de extrair recursos de imagens como bordas, cantos, formas e padrões macroscópicos utilizando camadas e filtros. As CNNs permitem realizar tarefas como classificação de imagens (“essa imagem possui uma lesão de cáries?”) e segmentação (“quais *pixels* são afetadas pela cárie?”) (Rodrigues; Krois; Schwendicke, 2021).

CNNs mostraram alto desempenho para segmentação e identificação de dentes, para planejamento de implantes dentários para classificação de biofilme dental em imagens de fluorescência, para diagnóstico de sinusite maxilar em radiografia panorâmica, para detecção de pontos cefalométricos ou para classificação morfológica radicular. Já para detecção de cárie, as redes CNNs também mostraram bom desempenho na detecção de cáries em radiografia periapicais e *bitewing*. Estudos recentes, com uma grande amostra de imagens (aproximadamente 3868 imagens de radiografias *bitewing*) foi avaliada por quatro dentistas experientes e um algoritmo CNN, foi treinado e validado para a detecção de cárie proximal. A rede neural apresentou uma precisão de 0,80 contra 0,70 obtida pelos dentistas experientes, mostrando maior sensibilidade (Rodrigues; Krois; Schwendicke, 2021).

Além dessas aplicações as CNNs também se mostraram efetivas em detectar lesões sugestivas de cáries utilizando fotografias intraorais. Um trabalho de Kühnisch *et al.* (2022) utilizou 2417 fotografias intrabucais de clínicas anônimas e de alta qualidade, sendo 1317 de superfícies oclusais permanentes e 1100 superfícies lisas permanentes (dentes anteriores e caninos = 743; dentes posteriores = 366). Essas imagens foram examinadas e rotuladas por cirurgião dentista experiente e rotuladas conforme as seguintes categorias: 0 – superfície sem cárie; 1 – superfície com sinais de lesão de cárie não cavitada (primeiros sinais, lesão estabelecida, ruptura localizada do esmalte); e 2 – superfícies com cavitação relacionada à cárie (exposição dentinária, grande cavidade). Cada decisão de diagnóstico do cirurgião dentista serviu como padrão de referência para treinamento cíclico e avaliação repetida da CNN baseada em aprendizado profundo (*Deep Learning*). A CNN foi treinada usando um *pipeline* de vários métodos estabelecidos de imagem e aprendizado de transferência. O conjunto de imagens foi dividido em conjunto de treinamento e conjunto de teste, sendo que o segundo conjunto nunca foi fornecido à CNN como material de treinamento, servindo apenas como conjunto de teste independente. O treinamento da CNN foi repetido 4 vezes, ela foi capaz de classificar corretamente a cárie em 91,5 % das imagens quando todas as imagens incluídas foram consideradas. Para a detecção de cavitação relacionada a cárie, 93,3% de todas as superfícies dentárias puderam ser classificadas corretamente. Além disso o desempenho diagnóstico foi calculado para cada uma das classes de cárie, sendo de: 90,6% para superfícies lisas, 85,2% para lesões de cáries não cavitadas e 79,5% para lesões de cáries cavitadas (Kühnisch *et al.*; 2022).

Segundo Kühnisch *et al.* (2022) os algoritmos de IA são capazes de detectar cáries e cavidades relacionadas a cárie em fotografias intraorais legíveis por máquina com uma precisão de 90%. O autor sugere que resultados podem ser mais precisos ao passo que uma maior quantidade de imagens forem adicionadas para avaliação de algoritmo de IA, além disso destaca que é importante a segmentação mais precisa dessas imagens. Também relata que outros achados patológicos como defeitos de desenvolvimento ou restaurações dentárias, devem ser consideradas ao usar fotografias clínicas como uma fonte potencial de informação legível por máquina para fins de diagnóstico (Kühnisch *et al.*; 2022).

É possível afirmar também que as imagens utilizadas para detecção de cárie podem ser obtidas de diversos aparelhos e não somente via câmeras fotográficas profissionais. Um exemplo disso é o trabalho de Duong, Kabir e Kuo (2021), onde os autores utilizaram 620 dentes extraídos e os fotografaram utilizando um *smartphone Samsung Note 8* dentro de uma *Photobox* de luz LED (*Light Emitting Diode*) embutida. Após as imagens obtidas sob um

protocolo de aquisição de imagens essas foram avaliadas por quatro cirurgiões dentistas calibrados e treinados pelo protocolo ICDAS II. Após a seleção da imagem o dentista classificou o elemento dentário conforme uma tabela pré-estabelecida. O diagnóstico de cárie de cada dentista foi comparado e repetido até que uma concordância de 75% fosse obtida entre eles. Após o pré-processamento das imagens utilizando a biblioteca de visão computacional *Open CV*, restaram 587 imagens. Para o aprendizado de máquina os autores utilizam o classificador binário SVM *Support Vector Machine* (SVM), as imagens foram aleatoriamente divididas em 3 grupos sendo 20% de grupo de imagens em conjunto de testes e 80% de cada grupo em conjunto de treinamento e conjunto de validação. Os resultados obtidos mostraram que imagens de elementos dentários obtidas através de utilização de *smartphone* analisadas por um sistema baseado em SVM para detecção de cárie mostrou acurácia, sensibilidade e especificidade de 92,37%, 88,1% e 96,6%. Os autores também concluem que é possível a construção de uma metodologia automatizada para detectar e classificar lesões de cárie dentária com base em imagens coloridas de *smartphone*. (Duong; Kabir; Kuo, 2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como foi descrito na seção *Protocolo de Estudo* foi realizada uma pesquisa *on-line* no site de ferramentas gráficas e fotografias, denominado *VistaCreate*⁶ da qual se obteve 87 fotografias intraorais contendo estruturas bucais dentre elas elementos dentários, os quais foram classificados (pelo cirurgião dentista responsável por esse trabalho) em cariados ou não cariados. As imagens originais foram segmentadas (utilizando a ferramenta de **seleção de formato livre** do *software Microsoft Paint*) e as superfícies geradas pela segmentação foram classificadas em duas classes: 1 – *Cariado*; 2 – *Não cariado*.

Foram geradas 405 imagens segmentadas, dessas 202 foram classificadas, pelo cirurgião dentista, como *cariada* e 203 como *não cariada*. A seguir as imagens segmentadas e classificadas foram inseridas em aplicativo de IA *No-Code* da *Google* denominado *Teacheable Machine*⁷. O qual gerou um modelo de treinamento para classificação de superfícies dentárias nas duas classes acima citadas. Além disso a IA *Teacheable Machine* gerou um código de programação em *Python* com a possibilidade de replicação em outros dispositivos a fim de gerar um classificador *on-line*⁸.

A IA sem código continua sendo um mercado em crescimento e é reconhecida como uma das tendências mais promissoras para 2021. Estão surgindo novos produtos que permitem que pessoas não técnicas criem seus próprios modelos e aplicativos e tragam o poder da inteligência artificial para os negócios. Sua principal vantagem é a velocidade. Construir um modelo de IA leva tempo, esforço e experiência. As ferramentas de IA sem código (muitas das quais são visuais e de arrastar e soltar) podem ser reduzidas a minutos, tornando mais fácil para as organizações integrarem modelos de aprendizado de máquina em seus processos. Outra vantagem importante é a relação custo-benefício. As organizações precisam de menos cientistas de dados se puderem permitir que usuários de negócios criem modelos de aprendizado de máquina (De Luca, 2021).

Teachable Machine é uma ferramenta GUI *Graphical User Interface* (GUI) baseada na *Web* que permite criar modelos personalizados de classificação de aprendizado de máquina sem conhecimento técnico especial. Com aprendizado de máquina, ou ML, os sistemas podem aprender a analisar dados sem precisar programá-los separadamente (Carney *et al.*, 2020).

⁶<https://create.vista.com/pt/>

⁷<https://teachablemachine.withgoogle.com>

⁸<http://retina.inf.ufsc.br:8000/app/dentes>

Figura 10 - Código gerado por *Teacheable Machine* após o desenvolvimento do treinamento de modelo

```

from keras.models import load_model # TensorFlow is required for Keras to work
from PIL import Image, ImageOps # Install pillow instead of PIL
import numpy as np

# Disable scientific notation for clarity
np.set_printoptions(suppress=True)

# Load the model
model = load_model("keras_Model.h5", compile=False)

# Load the labels
class_names = open("labels.txt", "r").readlines()

# Create the array of the right shape to feed into the keras model
# The 'length' or number of images you can put into the array is
# determined by the first position in the shape tuple, in this case 1
data = np.ndarray(shape=(1, 224, 224, 3), dtype=np.float32)

# Replace this with the path to your image
image = Image.open("<IMAGE_PATH>").convert("RGB")

# resizing the image to be at least 224x224 and then cropping from the center
size = (224, 224)
image = ImageOps.fit(image, size, Image.Resampling.LANCZOS)

# turn the image into a numpy array
image_array = np.asarray(image)

# Normalize the image
normalized_image_array = (image_array.astype(np.float32) / 127.5) - 1

# Load the image into the array
data[0] = normalized_image_array

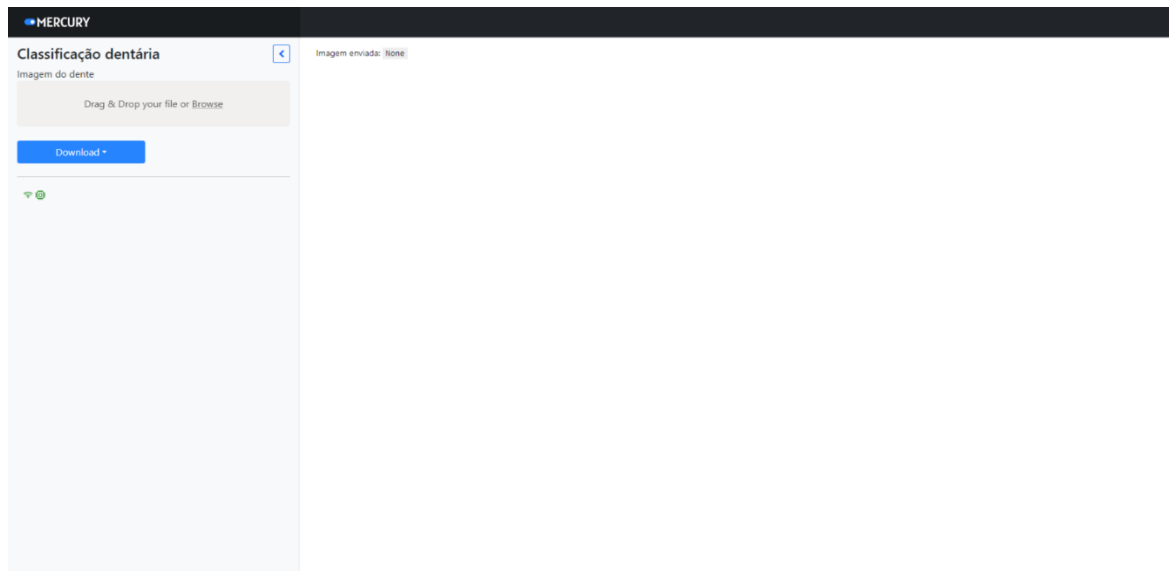
# Predicts the model
prediction = model.predict(data)
index = np.argmax(prediction)
class_name = class_names[index]
confidence_score = prediction[0][index]

# Print prediction and confidence score
print("Class:", class_name[2:], end="")
print("Confidence Score:", confidence_score)

```

Fonte: Techablemachine (2023)

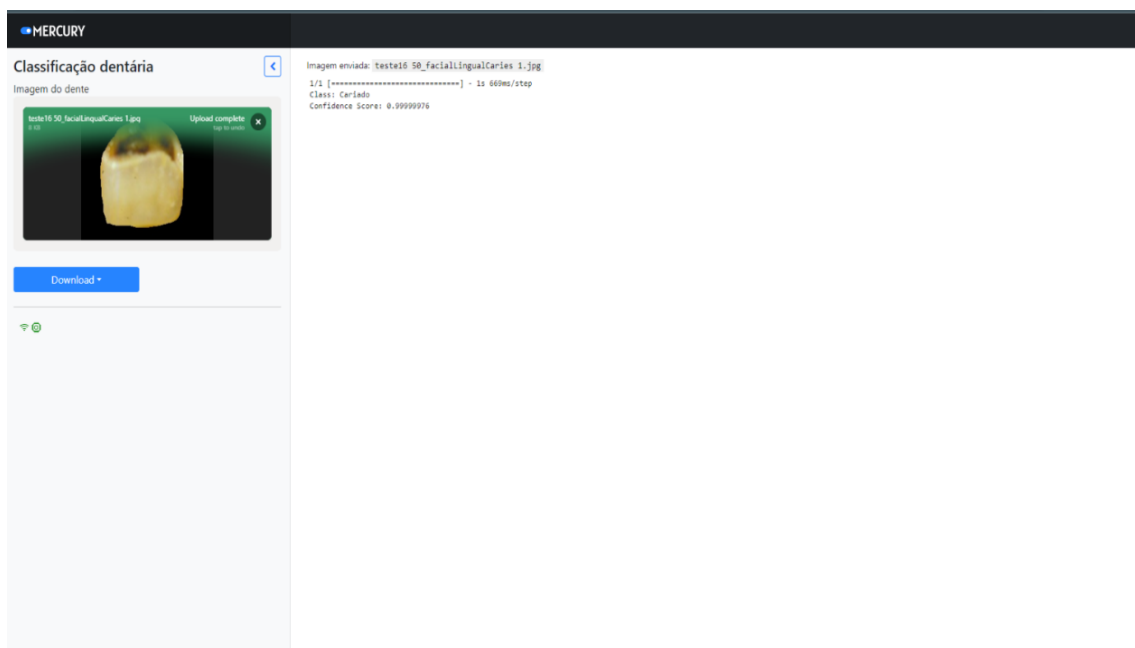
Figura 11: Classificador *on-line* gerado a partir de código da plataforma *Teacheable Machine*



Fonte: UFSC (2023)

Após o desenvolvimento do modelo de aprendizado, foram selecionadas imagens de dois bancos de dados de uso livre disponibilizados *on-line*: *Hardin MD: Oral Disease Pictures*⁹ e *ODSI-DB – Oral and Dental Spectral Image Database*¹⁰. Dos quais originaram-se 44 imagens segmentadas e classificadas, também pelo cirurgião dentista idealizador do projeto, em: 1 – *Cariado* (32 imagens) e 2 – *Não cariado* (22 imagens). Esses dados foram utilizados como modelo de teste e submetidos a classificação utilizando o classificador *on-line* desenvolvido a partir do modelo de treinamento¹¹. Observar figura 12.

Figura 12 - Classificador *on-line* em funcionamento



Fonte: UFSC (2023)

Os resultados obtidos após a inserção dos dados do modelo de teste no classificador estão descritos nos quadros abaixo:

⁹<https://web.archive.org/web/20170213170558/http://hardinmd.lib.uiowa.edu/dentpictures2.html>

¹⁰<https://sites.uef.fi/spectral/odsi-db/>

¹¹<http://retina.inf.ufsc.br:8000/app/dentes>

Quadro 1 - Quadro comparativo entre classificação de superfícies cariadas por cirurgião dentista (*cariados*) e classificador IA

Arquivo	Classificação dentista	Classificação IA	Confidence Score
teste01	Cariado	Não cariado	0,9999893
teste02	Cariado	Não cariado	0,85795826
teste03	Cariado	Não cariado	0,9963277
teste04	Cariado	Não cariado	0,9995559
teste05	Cariado	Não cariado	0,99997663
teste06	Cariado	Cariado	0,9122144
teste07	Cariado	Cariado	0,9939061
teste08	Cariado	Cariado	0,99999917
teste09	Cariado	Cariado	0,9269681
teste10	Cariado	Cariado	0,9901862
teste11	Cariado	Não cariado	0,7035951
teste12	Cariado	Cariado	0,9998155
teste13	Cariado	Cariado	1
teste14	Cariado	Não cariado	0,9108324
teste15	Cariado	Não cariado	0,9990952
teste16	Cariado	Cariado	0,99999976
teste17	Cariado	Cariado	0,99975604
teste18	Cariado	Não cariado	0,71655124
teste19	Cariado	Cariado	0,8127266
teste20	Cariado	Não cariado	0,97202796
teste21	Cariado	Cariado	0,5976402
teste22	Cariado	Não Cariado	0,9948378
teste45	Cariado	Cariado	1
teste46	Cariado	Cariado	1
teste47	Cariado	Cariado	1
teste48	Cariado	Cariado	1
teste49	Cariado	Cariado	1
teste50	Cariado	Cariado	1
teste51	Cariado	Cariado	1
teste52	Cariado	Cariado	0,9999871
teste53	Cariado	Cariado	1
teste54	Cariado	Cariado	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Quadro 2 - Quadro comparativo entre classificação de superfícies não cariadas por cirurgião dentista (*não cariados*) e classificador IA

Arquivo	Classificação dentista	Classificação IA	Confidence Score
teste23	Não cariado	Não cariado	0.95546246
teste24	Não cariado	Não cariado	0.99999964
teste25	Não cariado	Não cariado	0.99998987
teste26	Não cariado	Não cariado	0.999946
teste27	Não cariado	Não cariado	0.9895801
teste28	Não cariado	Não cariado	0.9999988
teste29	Não cariado	Não cariado	0.9997004
teste30	Não cariado	Não cariado	0.99996865
teste31	Não cariado	Não cariado	0.99838316
teste32	Não cariado	Não cariado	0.99999976
teste33	Não cariado	Não cariado	0.99995553
teste34	Não cariado	Não cariado	0.999616
teste35	Não cariado	Não cariado	0.99633384
teste36	Não cariado	Não cariado	0.9999603
teste37	Não cariado	Não cariado	0.99953055
teste38	Não cariado	Não cariado	0.9995437
teste39	Não cariado	Não cariado	0.8820198
teste40	Não cariado	Não cariado	0.99997306
teste41	Não cariado	Não cariado	0.99907446
teste42	Não cariado	Não cariado	0.9366288
teste43	Não cariado	Não cariado	0.9931117
teste44	Não cariado	Não cariado	0.99993503

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Após avaliação dos quadros 1 e 2, pode-se observar que a classificação entre o profissional cirurgião dentista e o classificador foram semelhantes em 79,62% das amostras testadas. Já o *Confidence Score* do classificador apresentou média de 0,969038067.

Para o cálculo da acurácia do modelo utilizou-se a **matriz de confusão**. Matrizes de confusão são ferramentas de análise preditiva. Especificamente, uma tabela que exhibe os valores reais e os compara com os valores previstos pelo modelo. No contexto do aprendizado de máquina, matrizes de confusão são usadas como métricas para analisar como os classificadores de aprendizado de máquina processam um conjunto de dados. Matrizes de confusão produzem em visualizações de métricas como precisão, precisão, especificidade e recall. As matrizes de confusão são particularmente úteis porque, diferentemente de outros

tipos de métricas de classificação, como precisão simples, as matrizes de confusão produzem uma imagem mais completa do desempenho de um modelo. Usar apenas uma métrica, como precisão, pode fazer com que o modelo identifique incorretamente as classes de forma completa e consistente. No entanto, isso passa despercebido, pois tem um desempenho melhor, em média. As matrizes de confusão, por outro lado, permitem comparar diferentes valores, como falsos negativos, verdadeiros negativos, falsos positivos e verdadeiros positivos (Nelson, 2020).

Figura 13 - Matriz de Confusão

		Valor Predito	
		Sim	Não
Real	Sim	Verdadeiro Positivo (TP)	Falso Negativo (FN)
	Não	Falso Positivo (FP)	Verdadeiro Negativo (TN)

Fonte: Nogare (2020)

Quadro 3 - Cálculo da Matriz de Confusão com os dados obtidos na pesquisa

	Não cariado (predição)	Cariado (predição)
Não cariado (real)	22 (100%)	0 (0%)
Cariado (real)	11 (34,4%)	21 (65,6%)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Em problemas de classificação binária é utilizada uma matriz de tabulação cruzada dos resultados preditos com as classes originais observadas, conhecida como matriz de confusão. Contudo, esta matriz busca entender a relação entre acertos e erros que o modelo apresenta. Pode parecer complexo, mas os resultados podem ser resumidos em quatro valores iniciais, sendo:

- **Positivo Verdadeiro** *True Positive*(TP) que significa que a classe prevista e observada originalmente faz parte da classe positiva;
- **Falso Positivo** *False Positive*(FP) que significa que a classe predita retornou positivo, mas a original observada era negativa;

- **Negativo Verdadeiro** *True Negative*(TN) os valores preditos e observados fazem parte da categoria negativa;

- **Falso Negativo** *False Negative*(FN) representa que o valor predito resultou na classe negativa, mas o original observado era da classe positivo (Nogare, 2020).

Pode-se considerar **positivo (P)** como “**cariado**” e **negativo (N)** como “**não cariado**”. A **Acurácia** (*Acuracy*) é a quantidade classificada como Positivos e Negativos corretamente, e pode ser formalizada em $(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$. Sendo assim = $(21+22) / (21 + 0 + 22 + 11) = 0,796$.

$$acurácia = \frac{VP + VN}{VP + FN + VN + FP}$$

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao finalizar o referido projeto pode-se constatar que a utilização da inteligência artificial se mostra viável para detectar a presença ou ausência de lesões de cáries em superfícies dentárias. É importante frisar que a proposta apresentada e realizada neste projeto tem como intuito utilizar a IA como um método de apoio a detecção de cárie em elementos dentários, não sendo proposto como método substitutivo aos métodos tradicionais já estabelecidos como o método visual associado a utilização de radiografias periapicais e interproximais (*bitewing*). Sendo assim, objetiva-se fornecer mais uma ferramenta no conjunto de ações para que o diagnóstico de cáries dentárias seja mais preciso.

Também convém relatar que o trabalho descrito anteriormente apresentou a proposta de tecnologia de Inteligência Artificial (IA) que apenas detectasse ou não a presença de lesão em superfície dentária, não levando em consideração a atividade ou inatividade da lesão de cárie e a profundidade desta lesão (comprometimento de esmalte ou dentina), fatores estes importantes para um diagnóstico completo e que norteiam o plano de tratamento e o prognóstico do elemento dentário examinado. Esses fatores poderão ser analisados com mais profundidade em trabalhos futuros.

Além disso deve-se citar que não foram testadas situações em que superfícies de elementos dentários apresentem alterações de coloração que possam ser confundidas com lesões de cárie como por exemplo elementos com presença de manchas de fluorose dentária, manchas por consumo de café, chás ou uso de tabaco, presença de cálculos dentários ou restaurações com matérias que não apresentam coloração semelhantes a estrutura dentárias, como por exemplo restaurações de amálgama ou restaurações metálicas fundidas. Os testes com as situações listadas anteriormente poderão ser realizados em trabalhos futuros a fim de evitar possíveis falsos positivos na detecção de lesões cariosas em superfícies de estruturas dentárias.

Deve-se relatar que não houve distinção entre elementos cariados em estágios iniciais ou finais da doença. Tanto na seleção de imagens para criação de modelo de treinamento quanto para o modelo de testes. Apenas a presença ou ausência de lesão de cárie foi considerada. Sendo assim, essa é uma fragilidade do estudo em questão. Em estudos posteriores pode-se realizar, além da detecção da lesão de cárie, a sua classificação quanto ao estágio, atividade ou inatividade e estrutura dentária acometida (esmalte/cimento, dentina, tecido pulpar etc.).

É importante salientar que, durante a seleção de imagens, não houve distinção quanto a idade do paciente, face dentária ou unidade dentária. Trabalhos com essas características podem ser realizados em estudos futuros a fim de melhorar o diagnóstico da lesão de cárie.

O classificador desenvolvido no referido trabalho e disponível no endereço eletrônico: <http://retina.inf.ufsc.br:8000/app/dentesfica> à disposição dos profissionais ou estudantes da área da odontologia para testes, estudo e desenvolvimento de trabalhos. Podendo ser modificado, atualizado ou melhorado de acordo com os critérios do pesquisador responsável. Solicita-se apenas que, caso o utilizem em trabalhos acadêmicos, a devida citação deve ser feita. É vedada a utilização do referido classificador para fins comerciais ou outro propósito dessa natureza.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. A. *et al.* Caries detection and diagnosis methods: a narrative review. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10019>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- BERDOUSES, E. D. *et al.* A computer-aided automated methodology for the detection and classification of occlusal caries from photographic color images. **Computers in Biology and Medicine**. n. 62, p. 119 – 135, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25932969/>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- BERNAUER, S. A.; ZITZMANN, N.; JODA, T. The use and performance of Artificial Intelligence in prosthodontics: a systematic review. **Sensors (Basel)**. v. 21, n. 19, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34640948/>. Acesso em: 18 jul. 2023.
- BRAGA, M. M. *et al.* A doença cárie dentária. In: IMPARATO, J. C. P.; RAGGIO, D. P.; MENDES, F. M. **Selantes de fossas e fissuras: quando, como e por quê?** 1. ed. São Paulo: Livraria Santos, 2008.
- BRAGA, M. M. *et al.* Nova proposta para ensino/treinamento na detecção de lesões de cárie: insights da implementação do método entre estudantes de graduação. **Revista da ABENO**, v. 2, n. 18, p. 2–12, 2018. Disponível em: <https://revabeno.emnuvens.com.br/revabeno/article/view/438>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução N° 196 de 10 outubro de 1996. Aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/1996/res0196_10_10_1996.html. Acesso em: 25 jun. 2023.
- CARNEY, Michelle *et al.* 2020. Teachable Machine: Approachable Web-Based Tool for Exploring Machine Learning Classification. In: Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20). Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3334480.3382839>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- CHENG, Lei *et al.* Consenso de especialistas sobre o manejo da cárie dentária. **Int J Oral Sci**, n. 14, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41368-022-00167-3>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- DE LUCA, Cristina. Movimento no-Code está democratizando a Inteligência Artificial. **The Shift**. 2021. Disponível em: <https://theshift.info/hot/movimento-no-code-esta-democratizando-a-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- DING, Hao, *et al.* Artificial intelligence in dentistry: a review. **Frontiers in Dental Medicine**; v. 4, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368660091_Artificial_intelligence_in_dentistry-A_review. Acesso em: 15 jul. 2023.
- DUONG, D. L.; KABIR, M. H; KUO, R. F. Detecção automatizada de cáries com fotografia colorida de smartphone usando aprendizado de máquina. **Revista de Informática em Saúde**.

27, n. 2, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33863251/>. Acesso em: 15 jul. 2023.

GONSALVES, P. P. Diagnosis of dental cavities using image processing. **International Journal of Computer Applications**, n. 5, p. 28-32, 2017. Disponível em: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume180/number5/gonsalves-2017-ijca-916034.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

ISMAIL, A. I. *et al.* The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. **Community Dent Oral Epidemiol.** n. 35, p. 170–178, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0528.2007.00347.x>. Acesso em: 15 jul. 2023.

ISMAIL, A. I; GAGNON, P.A longitudinal evaluation of fissure sealants applied in dental practices. **Journal of Dental Research.** v. 74, n. 9, p. 1583-1590, 1995. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7560420/>. Acesso em: 15 jul. 2023.

KHANAGAR, Sanjeev B. *et al.* Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry: a systematic review. **Journal of Dental Sciences**, v. 16, 2021, p. 508-522. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>. Acesso em: 15 jul. 2023.

KOHARA E. K. *et al.* Is it feasible to use smartphone images to perform telediagnosis of different stages of occlusal caries lesions? **PLoS ONE**, v. 13, n. 9, 2018. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0202116>. Acesso em: 15 jul. 2023.

KÜHNISCH J. *et al.* Detecção de cárie em imagens intraorais usando inteligência artificial. **Revista de Pesquisa Odontológica**, v. 101, n. 2, p. 158 – 165, 2022. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/00220345211032524>. Acesso em: 21 jul. 2023.

LIMA, J. E. de O. Cárie dentária: um novo conceito. **Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial**, v. 12, n. 6, dez, 2007. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-479384>. Acesso em: 21 jul. 2023.

MARIÑO, R.; GHANIM, A. Teledentistry: a systematic review of the literature. **J Telemed Telecare.** v. 19, n. 4, p. 179-83, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23512650/>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MOHAMED M. *et al.* Artificial intelligence in dentistry. **Dentistry Review**, v. 2 , 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dentre.2021.100009>. Acesso em 15 jul. 2023.

MOUTSELOS, K. *et al.* "Recognizing Occlusal Caries in Dental Intraoral Images Using Deep Learning". **Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)**, 2019, p. 1617-1620. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8856553>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MOUTSELOS, K. *et al.* "Superpixel-Based Classification of Occlusal Caries Photography". **IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**, 2018, p. 1343- 1347. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8451373>. Acesso em: 15 jul. 2023.

NAVARRO, P. K. *et al.* Detecting smooth surface dental caries in Frontal teeth using image processing. **Digital Library**. 2019. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3341069.3341091>. Acesso em: 25 jul. 2023.

NELSON, D. O que é uma matriz de confusão? **Unite AI**; 2020. Disponível em: <https://www.unite.ai/pt/o-que-%C3%A9-uma-matriz-de-confus%C3%A3o/>. Acesso em: 25 jul. 2023.

NOGARE, D. Performance de Machine Learning: Matriz de Confusão. Disponível em: <https://diegonogare.net/2020/04/performance-de-machine-learning-matriz-de-confusao/>. Acesso em: 13 set. 2023

PRADOS-PRIVADO, M. *et al.* Dental caries diagnosis and detection using neural networks: a systematic review. **J Clin Med**. v. 9, n. 11, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33172056/>. Acesso em: 25 mar. 2023.

PRETTY, I. A. Caries detection and diagnosis: novel technologies. **J Dent**. v. 34, n. 10, p. 727-739, 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16901606/>. Acesso em: 25 jul. 2023

RATHEE M.; SAPRA A. **Cárie Dentária**. In: StatPearls, Treasure Island (FL)StatPearls Publishing, 2022. PMID: 31869163. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31869163/>. Acesso em 20 ago. 2023.

RODRIGUES, J. A; KROIS, J.; SCHWENDICKE, F. Desmistificando inteligência artificial e aprendizado profundo em odontologia. **Pesquisa Oral Brasileira** [online]. 2021, v. 35. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0094>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SHAN, T.;TAY, F.R.;GU, L. Application of artificial intelligence in dentistry. **J Dent Res**. v. 100, n. 3, p. 232–244, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346481061_Application_of_Artificial_Intelligence_in_Dentistry. Acesso em: 25 jul. 2023.

SERZEDELLO, N. T. B.; TOMAÉL, M. I. Produção tecnológica da Universidade Estadual de Londrina (UEL): Mapeamento da área de Ciências Agrárias pela Plataforma Lattes. **AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento**, v. 1, n. 1, p. 23-37, jun. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/atoz/article/view/41281/25200>. Acesso em: 16 ago. 2023.

SHAFER, W. G.; HINE, M. K.; LEVY, B. M. **A textbook of oral pathology**. 4. ed. Philadelphia: Elsevier, 1983. Cap. 11, p. 372.

SILVEIRA, A. B. V. da. *et al.* What risk factors determine tooth caries today? A scoping review. *Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 10, n. 7, p. e24810716548, 2021. Disponível em: <https://www.sciencegate.app/app/document/download#10.33448/rsd-v10i7.16548>. Acesso em: 21 jul. 2023.

SOARES, G. G.*et al.* Methods of caries detection. (Métodos de detecção de cárie). **Revista Brasileira de Odontologia**, n. 69, p. 84-89, 2012.

SOUSA, Frederico Barbosa de. **Cariologia**: bases histopatológicas para decisões clínicas. João Pessoa: Autor, 2000.

SPEZZIA, Sérgio. Aplicabilidade da Inteligência Artificial em Odontologia. **International Journal of Science dentistry**, Niterói (RJ), Ano 30, v. 1, n. 60, jan./abr. 2023, p. 23-29. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/ijosd/article/view/52985/31338>. Acesso em 15 jul. 2023.

THURZO, A. *et al.* Where is the Artificial Intelligence applied in dentistry? Systematic Review and Literature Analysis. **Healthcare**, v. 10, n. 1269, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/healthcare10071269>. Acesso em: 15 jul. 2023.

ZHANG, J. S.; CHU, C.-H.; YU, O. Y. Desenvolvimento de microbioma oral e desenvolvimento de Cárie Dentária. **Dente. J.**, v. 10, n. 184, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/dj10100184>. Acesso em: 15 jul. 2023.