



**CESPU**  
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO  
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

# Aplicação da Inteligência Artificial no diagnóstico de cárie em Odontopediatria

Uma revisão sistemática integrativa

Carmen Inês Ferreira Moreira

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Gandra, maio de 2024

**Carmen Inês Ferreira Moreira**

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária  
(Ciclo Integrado)**

**Aplicação da Inteligência Artificial no diagnóstico de cárie em  
Odontopediatria  
Uma revisão sistemática integrativa**

Trabalho realizado sob a Orientação de  
**Professora Doutora Ana Paula Vilela Lobo**

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, acima identificada, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.



## Comunicações Científicas em Congressos na Forma de Poster ou Orais





## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer aos meus pais pelo apoio incondicional, por me encorajarem a seguir os meus sonhos e a trabalhar com dedicação. Aos que mais ficam felizes com as minhas conquistas, espero continuar a ser o orgulho deles. Sem eles esta aventura não era possível, serei eternamente grata. De igual forma, dedico à minha avó, que sempre foi uma segunda mãe, desde o primeiro dia de estudante até ao último.

À minha binómia, um agradecimento especial por ter sido a minha companheira de viagem, amiga sempre disponível com quem dividi os dias e partilhei aprendizagens.

À minha querida Professora Doutora Ana Paula Lobo por me ter acompanhado neste desafio e ter sido o suporte que precisava. Agradeço-lhe imenso.

E por fim, aos professores que foram passando pelo meu percurso académico, com os quais partilhei conversas e experiências, que só me fizeram crescer como pessoa, para além de todo o conhecimento transmitido.



## Resumo

**Introdução:** Os métodos auxiliares de diagnóstico de cárie comumente usados na prática clínica apresentam limitações; contudo, a inteligência artificial pode resolver este problema com as suas múltiplas maneiras de utilização e receptividade em odontopediatria.

**Objetivo:** Reunir as diversas formas de aplicação da inteligência artificial para auxiliar o médico dentista no diagnóstico de lesões de cárie em odontopediatria.

**Materiais e métodos:** Formulou-se uma questão de investigação, segundo a estratégia PICOS. Foi realizada uma pesquisa eletrônica utilizando as bases de dados *PubMed*, *Google Scholar* e *ScienceDirect*. Utilizaram-se combinações de palavras-chave e incluiu-se artigos publicados entre 2018 e 2023.

**Resultados:** A pesquisa bibliográfica identificou um total de 1295 artigos; 31 artigos foram lidos na íntegra e avaliados individualmente quanto à elegibilidade; foram selecionados 17 artigos que preencheram os critérios de inclusão e que eram relevantes para o tema.

**Discussão:** Meios de aplicabilidade da inteligência artificial no diagnóstico de cárie, como o reconhecimento; interpretação e classificação de imagens dentárias; triagem de informação médica e aplicações interativas, melhoraram a eficiência e eficácia diagnóstica precoce. Através destes métodos é possível motivar, educar e melhorar significativamente a saúde oral das crianças.

**Conclusões:** Destaca-se a importância de criar um elo de ligação entre as crianças e estas novas tecnologias, assim como de haver uma maior informatização dos médicos dentistas e pais para um uso correto da inteligência artificial.

**Palavras-chave:** “pediatric dentistry”, “artificial intelligence”, “caries diagnosis”.



## Abstract

**Introduction:** The auxiliary methods of caries diagnosis commonly used in clinical practice have limitations; however, artificial intelligence can solve this problem with its multiple ways of use and receptivity in pediatric dentistry.

**Objective:** To bring together the various ways in which artificial intelligence can be used to help dentists diagnose caries lesions in pediatric dentistry.

**Materials and Methods:** A research question was formulated according to the PICOS strategy. An electronic search was carried out using the PubMed, Google Scholar and ScienceDirect databases. Keyword combinations were used and articles published between 2018 and 2023 were included.

**Results:** The literature search identified a total of 1295 articles; 31 articles were read in full and individually assessed for eligibility; 17 articles were selected that met the inclusion criteria and were relevant to the topic.

**Discussion:** Means of applying artificial intelligence to caries diagnosis, such as recognizing; interpreting and classifying dental images; screening medical information and interactive applications, have improved early diagnostic efficiency and effectiveness. Through these methods it is possible to motivate, educate and significantly improve children's oral health.

**Conclusion:** The importance of creating a link between children and these new technologies is highlighted, as is the need for dentists and parents to be better informed about the correct use of artificial intelligence.

**Keywords:** "pediatric dentistry", "artificial intelligence", "caries diagnosis".



## Índice geral

1. Introdução .....	1
2. Objetivos.....	5
3. Materiais e métodos .....	7
4. Resultados.....	11
5. Discussão.....	23
5.1 Contextualização do tema.....	23
5.1.1 Cárie Dentária.....	23
5.1.2 Inteligência Artificial.....	24
5.2 Aplicação da Inteligência Artificial no Diagnóstico de Cárie.....	25
5.2.1 Diagnóstico através da interpretação e classificação de imagens.....	25
5.2.2 Diagnóstico através da triagem de informação médica.....	29
5.2.3 Diagnóstico através de aplicações interativas.....	30
5.3 Abordagem da Inteligência Artificial pelas Crianças.....	31
5.4 Futuro da Inteligência Artificial no Diagnóstico de Cárie em Odontopediatria.....	32
5.5 Limitações.....	33
6. Conclusão.....	35
7. Referências Bibliográficas.....	37



## Índice de figuras

Figura 1- Fluxograma da estratégia de pesquisa utilizada neste estudo.....	13
--	----



## Índice de tabelas

<b>Tabela 1-</b> Estratégia PICOS.....	7
<b>Tabela 2-</b> Critérios de inclusão e de exclusão.....	8
<b>Tabela 3-</b> Resultados obtidos na pesquisa bibliográfica.....	12



## Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ADA: American Dental Association

AI: Inteligência Artificial

ANN: Rede Neural Artificial

CBCT: Tomografia Computurizada

CNN: Rede Neural Convolucional

CPI: Cárie na Primeira Infância

DL: Deep Learning

Grad-CAM: Gradient-weighted Class Activation Mapping

ICDAS: Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie

K-NN: K-Nearest Neighbours

NN: Redes Neurais

SNPs: Polimorfismos de Nucleótido Único

SUS: Escala de Usabilidade do Sistema

SVM: Vector Machine

TI: Transiluminação Infravermelha

UTAUT: Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia

YOLO: You Only Look Once



## 1 - Introdução

A cárie dentária é uma doença crónica, multifatorial e dinâmica, que resulta de um desequilíbrio no processo de desmineralização e remineralização dentária. Afeta até 83% da população mundial. É a doença oral mais frequente entre as crianças, com consideráveis encargos económicos e de qualidade de vida. (1)(2)(3)

A classificação das lesões de cárie conforme localização e extensão são fundamentais para determinar adequadamente o plano de tratamento e intervenções terapêuticas de modo a dominar e tratar as lesões. (4) Se não forem tratadas, causam desconforto, dor, atraso no crescimento e redução da qualidade de vida das crianças com impacto negativo no seio familiar. (2)

A cárie na primeira infância (CPI) define-se como a existência de um ou mais dentes decíduos cariados, perdidos ou obturados numa criança com idade até 71 meses. A prevenção de cárie deve começar na gravidez (4º mês), pois bebés também podem desenvolver a doença. (1)

Inteligência artificial (AI) é a habilidade de um computador executar processos de pensamento que normalmente são atribuídos à inteligência humana. São programas projetados para fornecer suporte especializado. (5) Fornecem estratégias para o desenvolvimento de técnicas algorítmicas automatizadas, sofisticadas e objetivas para exploração de dados. (2)

A AI está a entrar na área da saúde num ritmo acelerado, prometendo tornar os cuidados de saúde melhores, mais seguros, mais equitativos e acessíveis. Este comprometimento com a sociedade ainda não é apoiado por dados robustos. O diagnóstico e tomada de decisão relativamente a tratamentos e custos envolvidos são aspetos de grande valorização, investigação e de impacto da AI nos cuidados. Contudo, as evidências ainda permanecem obscuras. (6)

Os benefícios da AI adquiridos no diagnóstico decorrem das decisões de tratamento e não apenas da precisão em si. Os custos também são tema debatido em associação com a relação custo-benefício do seu uso; incluem os de desenvolvimento (aquisição de dados, distribuição de rótulos, treinamento de modelos, engenharia de *software*) e operacionais (manutenção, despesas gerais). (7)(8)

Existem diversas formas de aplicação da AI na medicina dentária com ferramentas inovadoras e recursos úteis para diagnóstico de lesões de cárie de forma antecipada, triagem médica, qualificação do risco de desenvolver cárie e educação para a saúde oral. (9)(10)

Estes mecanismos podem ser treinados para gerar regras automaticamente e prever resultados futuros com identificação de padrões. É útil para trabalhar com grandes e complexos volumes de dados. (2)

Este estudo fornece uma contextualização dos conhecimentos já adquiridos e estudados da aplicabilidade da era digital, nomeadamente da AI, no auxílio do diagnóstico de cárie dentária, em consultório dentário e à distância, sobre a população pediátrica, que por si só é vulnerável à exposição desta doença.





## 2- Objetivos

**Objetivo principal** - reunir as diversas formas de aplicação da AI para auxiliar o médico dentista no diagnóstico de lesões de cárie em odontopediatria.

**Objetivo secundário** - estabelecer a importância de uma abordagem da AI pelas crianças e envolvimento dos pais, avaliar as vantagens do seu uso e as promessas para um futuro mais digital e sofisticado.



### 3- Materiais e métodos

Este estudo de revisão sistemática integrativa foi efetuado de acordo com os *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para revisões. A questão de investigação foi elaborada de acordo com a estratégia PICO (PICOS *Strategy*) (Tab.1) :

<b>População (Population)</b>	População odontopediátrica
<b>Intervenção (Intervention)</b>	Aplicação da inteligência artificial no diagnóstico de lesões de cárie em odontopediatria
<b>Comparação (Comparison)</b>	Comparação do diagnóstico, auxiliado pela inteligência artificial com o diagnóstico tradicional em consultório dentário, de lesões de cárie
<b>Resultados (Outcomes)</b>	Facilitismo, eficiência e promoção do diagnóstico prévio de lesões de cárie

Tabela 1-Estratégia PICOS

Diante disto, definiu-se a seguinte questão de investigação:

*“Quais são as vantagens e formas de aplicação da inteligência artificial no diagnóstico de cárie em odontopediatria?”*

Para dar resposta aos objetivos que sustentam a realização da presente revisão bibliográfica foi realizada uma pesquisa avançada através de 3 bases de dados online distintas: *Pubmed/Medline*, *ScienceDirect/Elsevier* e *Google Scholar*, com as palavras-chaves: "pediatric dentistry", "artificial intelligence", "caries diagnosis". Foram aplicados critérios de elegibilidade para a inclusão e exclusão das referências (Tab.2).

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Artigos publicados deste 2018 até 2023	Artigos publicados antes do ano de 2018
Casos clínicos, casos clínicos randomizados, Estudos observacionais	Revisões sistemáticas, meta análises, dissertações
Estudos que recorrem à AI como auxílio no diagnóstico de cárie dentária	Estudos que não incluem AI no diagnóstico de cárie dentária

**Tabela 2**-Critérios de inclusão e de exclusão

Numa 1ª fase de pesquisa de literatura recorreu-se a uma pesquisa avançada no motor de busca *Pubmed*, envolvendo artigos publicados entre o ano de 2018 e o ano de 2023 utilizando o filtro "últimos 5 anos", até novembro de 2023, para identificar estudos sobre a aplicação da inteligência artificial no diagnóstico de cárie em odontopediatria. Foi usada a seguinte expressão de pesquisa: *(((((pediatric dentistry[MeSH Terms]) OR (pediatric dentistry))) AND ((artificial intelligence[MeSH Terms]) OR (artificial intelligence))) AND ((caries diagnosis[MeSH Terms]) OR (caries diagnosis)))*. Os critérios de elegibilidade utilizados para as buscas de artigos foram: *case report, clinical study, clinical trial protocol, observatioal study e controlled clinical trial*, escritos em português e inglês, realizados em humanos. Esta estratégia de pesquisa permitiu assim identificar 200 artigos.

Na base de dados online *GoogleScholar* foram encontrados artigos de acordo com o objetivo proposto com apoio na seguinte expressão de pesquisa: *The application of "artificial intelligence" in "caries diagnosis" at "pediatric dentistry"*. A pesquisa foi realizada até

novembro de 2023 com a aplicação do filtro do período compreendido entre 2021-2023. Obteve-se 530 resultados.

Foi realizada uma pesquisa na base de dados *ScienceDirect*, utilizando a pesquisa avançada: *artificial intelligence AND pediatric dentistry AND caries diagnosis*. Com a aplicação do filtro *research articles* e *book chapters*, até janeiro de 2024, obteve-se 43 resultados.

Houve necessidade de uma **2ª fase de pesquisa** em busca de um número maior de resultados.

Na plataforma *Pubmed*, envolvendo artigos publicados entre o ano de 2019 e 2023 com a expressão de pesquisa: ("Caries detection" OR "dental caries diagnosis" OR "caries diagnosis") AND ("near-infrared transillumination" OR NIR) AND ("deep learning" OR "neural networks"), obteve-se um total de 2 artigos.

Na base de dados online *GoogleScholar* foram encontrados artigos através da expressão de pesquisa: ("Artificial intelligence" OR "Machine learning" OR "Deep learning" OR "Convolutional neural network") AND ("Dental caries" OR "Caries detection" OR "Caries diagnosis" OR "Oral health assessment") OR ("bitewing" OR "pulpitis" OR "Near-Infrared Transillumination" OR "Early Childhood Caries"). A pesquisa foi realizada até abril de 2024 com o filtro do período compreendido entre 2019-2023 e pelos filtros de pesquisa avançada "localizar artigos com a expressão exata" e "ocorrência das minhas palavras no título do artigo". Esta estratégia de pesquisa permitiu assim identificar 520 resultados.



## **4- Resultados**

### **Etapa I- Resultados da base de dados**

Foi realizada a pesquisa bibliográfica com as palavras-chave supracitadas. Os artigos duplicados foram eliminados. Por fim, a pesquisa bibliográfica identificou um total de 1295 artigos. Foi realizada uma avaliação preliminar dos títulos e resumos de forma a determinar os artigos que não se enquadravam no objetivo do estudo. Desta forma, os artigos que não cumpriam critérios de inclusão, foram automaticamente excluídos. Após leitura dos títulos, dos abstratos e verificação do tipo de estudo, foram selecionados 31 artigos.

### **Etapa II – Artigos revistos**

Os 31 artigos foram lidos na íntegra e avaliados individualmente quanto à elegibilidade, dos quais 14 foram excluídos por não proporcionarem informação relevante, tendo em conta o objetivo deste trabalho. Após leitura dos *Full-text* foram selecionados 17 artigos que preencheram os critérios de inclusão e que eram relevantes para o tema.

### **Etapa III – Artigos para inclusão**

Finalmente, 17 artigos foram incluídos na tabela dos resultados e inseridos na presente revisão integrativa. O processo de seleção de artigos está ilustrado na tabela 3.

Pubmed	Google Scholar	ScienceDirect
<p>(((((pediatric dentistry[MeSH Terms])) OR (pediatric dentistry))) AND ((artificial intelligence[MeSH Terms])) OR (artificial intelligence))) AND ((caries diagnosis[MeSH Terms])) OR (caries diagnosis))</p>	<p><i>The application of "artificial intelligence" in "caries diagnosis" at "pediatric dentistry"</i></p>	<p><i>artificial intelligence AND pediatric dentistry AND caries diagnosis</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total: 200</li> <li>• Títulos e abstratos não relacionados: 179</li> <li>• Revisões sistemáticas: 10</li> <li>• Guardados para análise: 11</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total: 530</li> <li>• Títulos e abstratos não relacionados: 505</li> <li>• Língua não inglesa ou portuguesa: 3</li> <li>• Revisões sistemáticas: 15</li> <li>• Guardados para análise: 7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total: 43</li> <li>• Títulos e abstratos não relacionados: 35</li> <li>• Revisões sistemáticas: 3</li> <li>• Guardados para análise: 5</li> </ul>
<p>("Caries detection" OR "dental caries diagnosis" OR "caries diagnosis") AND ("near-infrared transillumination" OR NIR) AND ("deep learning" OR "neural networks")</p>	<p>("Artificial intelligence" OR "Machine learning" OR "Deep learning" OR "Convolutional neural network") AND ("Dental caries" OR "Caries detection" OR "Caries diagnosis" OR "Oral health assessment") OR ("bitewing" OR "pulpitis" OR "Near-Infrared Transillumination" OR "Early Childhood Caries")</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total: 2</li> <li>• Revisões sistemáticas: 1</li> <li>• Guardados para análise: 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total: 520</li> <li>• Títulos e abstratos não relacionados: 505</li> <li>• Revisões sistemáticas: 8</li> <li>• Guardados para análise: 7</li> </ul>	

**Tabela 3**-Resultados obtidos na pesquisa bibliográfica

Estes artigos encontram-se no fluxograma seguinte (Figura 1).

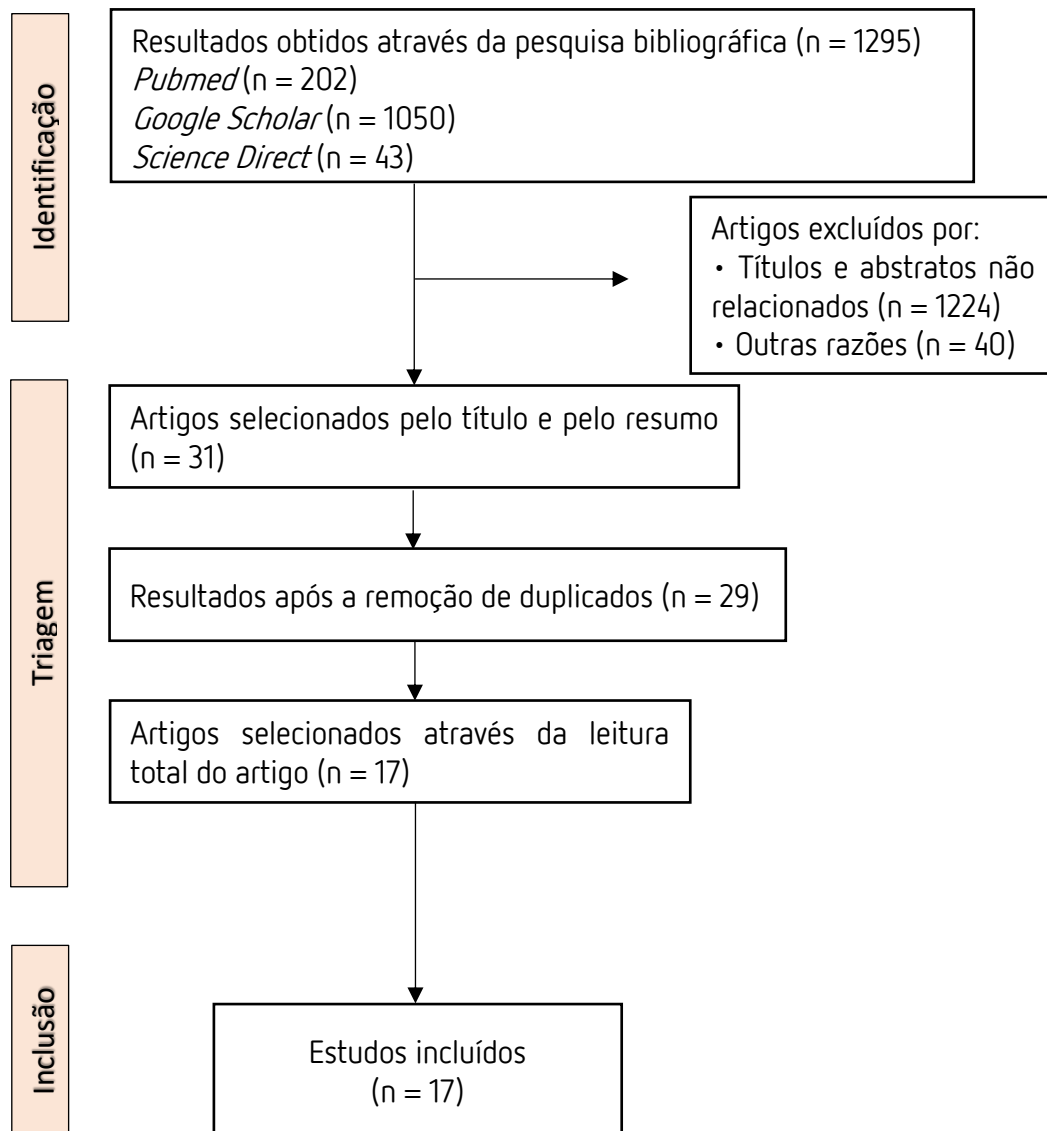


Figura 1- Fluxograma da estratégia de pesquisa utilizada neste estudo

Foram incluídos nesta revisão sistemática integrativa um total de 6 estudos experimentais, dos quais 2 são ensaios clínicos randomizados e 11 estudos observacionais, dos quais 2 descritivos e 2 transversais.

Dos artigos selecionados, 2 eram sobre diagnósticos através de aplicações de telemóvel, 1 utilizava a rede neural artificial (ANN), 3 dispunham de *machine learning*, 3 recorriam a modelos de *deep learning* (DL) e por fim 8 abordavam a rede neural convolucional (CNN); para auxiliar no diagnóstico de cárie. Das diversas formas de aplicação destas ferramentas de AI 2 dos artigos eram sobre aplicações interativas, 4 atuavam sobre triagem de informação médica, 3 perante fotografias dentárias e 8 em exames auxiliares de diagnóstico (dos quais 4 em *bitewings*, 1 em ortopantomografias, 1 em radiografias periapicais, 1 em tomografia computadorizada e 1 em transiluminação infravermelha).

## Lista de dados

Artigos	Objetivo	Modelo de AI usado	Atuação da AI	Participantes	Métodos	Resultados	Conclusão
<p><b>Autores:</b> Paula Dresch Portella, et al.</p> <p><b>Ano:</b> 2023</p>	Investigar a eficácia de uma rede neural convolucional (CNN) no auxílio ao diagnóstico de lesões cariosas e avaliar a aplicabilidade clínica deste algoritmo de DL.	CNN-VGG-19.	Diagnóstico de cárie através de fotografias dentárias.	N= 2481 dentes posteriores deciduos e permanentes.	Dentes classificados de acordo com o Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cárie (ICDAS). Após avaliação clínica, as superfícies oclusais dos dentes ICDAS-0 e ICDAS-2 foram fotografadas com câmara digital. O algoritmo VGG-19 foi escolhido como o modelo de CNN.	O VGG-19 alcançou precisão de 0,879; concordância positiva de 0,827; precisão de 0,949; concordância negativa de 0,800 para o diagnóstico de padrões de saúde oral e lesões de cárie precoces.	O VGG-19 apresentou bom desempenho na deteção precoce de lesões cariosas.
<p><b>Autores:</b> Rasool Esmaeilyfard, et al.</p> <p><b>Ano:</b> 2023</p>	Investigar a precisão de algoritmos de DL para diagnóstico das lesões de cárie em imagens de tomografia computadorizada (CBCT).	CNN.	Diagnóstico de cárie através de imagens de CBCT.	N= 382 molares com lesão de cárie e 403 sem cárie.	Imagens de CBCT dos dentes cariados foram classificadas quanto à localização e extensão das lesões. A análise foi providenciada por uma rede neural convolucional (CNN).	A rede CNN obteve percentagem de diagnósticos corretos superior a 80%. A precisão, especificamente, alcançou valores superiores a 94,6%.	Dados os resultados positivos do uso de DL neste campo, ajudará os médicos dentistas a diagnosticar.
<p><b>Autores:</b> Falk Schwendicke, et al.</p> <p><b>Ano:</b> 2022</p>	Avaliar relação custo-eficácia dos ganhos da precisão diagnóstica.	CNN.	Diagnóstico de cárie através de bitewings.	N= 23 dentistas para analisarem 20 bitewings cada.	Radiografias foram avaliadas com suporte de um <i>software</i> baseado em AI ( <i>dentalXrai Pro</i> ). Cada interveniente analisou 10 imagens suportadas por AI e 10 sem.  A relação custo-eficácia foi avaliada conforme os diferentes limites máximos de disposição em pagar.	A deteção apoiada por AI foi significativamente mais sensível do que a avaliação radiográfica por dentistas sem AI. A especificidade não foi significativamente diferente.  A relação custo-eficácia é menor quando a prevalência das lesões é baixa e maior quando a prevalência é alta.	A verdadeira relação custo-benefício da AI é determinada por uma combinação de fatores, como a precisão, mas também as decisões de tratamento precoces e posteriores na vida.

<b>Autores:</b> <i>F. Schwendicke, et al.</i>	Analisar a relação custo-eficácia da AI no diagnóstico de cárie.	CNN.	Diagnóstico de cárie através de <i>bitewings</i> .	N= 692 dentes sem lesões de cárie e 401 com cárie. 4 especialistas.	Treinaram uma CNN com imagens provenientes de <i>bitewings</i> e aplicaram um modelo económico de saúde estabelecido, assim como uma estrutura analítica para quantificar a relação custo-eficácia e o valor da informação. O resultado de saúde foi o tempo que um dente ficou presente em boca (em anos).	Uma população com alto risco de desenvolver cárie (alta prevalência) leva a uma relação custo-eficácia considerável, enquanto numa população de baixo risco os falsos positivos são mais relevantes. O desempenho no diagnóstico é variável conforme o perfil de risco de cárie da população-alvo e outros parâmetros, como os custos de AI.	Para detetar lesões de cárie, uma CNN produz precisão diagnóstica superior à de dentistas sem uso de AI.
<b>Ano:</b> 2022							
<b>Autores:</b> <i>Sarah Mertens, et al.</i>	Avaliar se o uso AI melhora o diagnóstico de cárie e a sua gestão. Desta forma avaliar a precisão e o impacto nos médicos dentistas.	CNN.	Diagnóstico de cárie através de <i>bitewings</i> .	N= 22 dentistas para analisarem 20 <i>bitewings</i> cada.	Análise de radiografias por uma rede neural totalmente convencional. As deteções de cárie eram mostradas como sobreposições de pixéis e os utilizadores podiam movimentar esses dados. Cores diferentes indicavam características diferentes.	Dentistas que usaram a AI apresentaram resultados significativamente melhores, principalmente quanto à sensibilidade, com maior destaque nas lesões de cárie no esmalte; enquanto a especificidade não foi significativamente afetada.	O uso desta AI aumenta a precisão diagnóstica para detetar lesões iniciais e intervir mais precocemente.
<b>Ano:</b> 2021							
<b>Autores:</b> <i>Xuan Zhang, et al.</i>	Desenvolver e avaliar o desempenho de uma rede neural convolucional ( <i>ConvNet</i> ) para diagnóstico de cárie a partir de fotos da cavidade oral.	CNN- <i>ConvNet</i> .	Diagnóstico de cárie através de fotografias capturadas por um telemóvel.	N= 625 voluntários dos quais foram obtidas 3932 fotos.	O modelo <i>ConvNet</i> desenvolveu-se através do <i>Single Shot MultiBox Detector</i> (SSD) e foi avaliado quanto à precisão de classificação e de localização. As imagens foram conjuntamente classificadas por 3 dentistas segundo ICDAS.	O modelo identifica com precisão as lesões de cárie dentária, usando caixas delimitadoras, com sensibilidade e especificidade altas.	Diagnóstico de cárie a partir de fotos intraorais, com apoio da AI, é útil para um rastreio preliminar e económico da doença.
<b>Ano:</b> 2020							
<b>Autores:</b> <i>F. Casalegna, et al.</i>	Comprovar que o uso de uma CNN aumenta a eficácia do diagnóstico das lesões de cárie, em estadios iniciais, por meio de imagens obtidas por transiluminação infravermelha (TI).	CNN.	Diagnóstico de cárie através de imagens obtidas por TI.	N= 217 imagens de molares e pré-molares, superiores e inferiores.	As imagens foram recolhidas com centralização na superfície oclusal dos dentes. Uso das CNNs para segmentação.	Em alguns casos surgiram artefactos de segmentação fisicamente irrealistas, a maioria foram produzidos por áreas superexpostas ou subexpostas. Para compensar limitações foram usadas várias técnicas para superar a escassez de dados para treino da AI, o que melhorou significativamente a precisão do modelo em estudo.	Esta abordagem é promissora para aumentar a velocidade e a precisão do diagnóstico de cárie.
<b>Ano:</b> 2019							

<b>Autores:</b> <i>Liwen Zheng, et al.</i>	Avaliar e comparar 3 CNNs no auxílio do diagnóstico clínico de cárie.	3 modelos de CNN pré-treinados: <i>VGG19</i> , <i>Inception V3</i> e <i>ResNet18</i> .	Diagnóstico de cárie através de radiografias periapicais.	N= 127 radiografias	A CNN com melhor desempenho foi ainda melhorada e validada através da integração de parâmetros clínicos. A técnica <i>Gradient-weighted Class Activation Mapping</i> (Grad-CAM) ilustra qual característica da imagem foi mais importante para as CNNs.	<i>ResNet18</i> , CNN multimodal, mostrou um desempenho significativamente melhorado para o diagnóstico de cárie profunda e pulpíte.	CNNs apresentam boa precisão e eficiência no diagnóstico precoce de lesões de cárie.
<b>Ano:</b> 2021							
<b>Autores:</b> <i>Abu Tareq, et al.</i>	Desenvolver um novo sistema virtual de AI com custo-eficácia elevado para diagnóstico de cárie dentária através de fotografias.	<i>YOLO</i> ("you only look once")- DL e <i>transfer learning models</i> .	Diagnóstico de cárie através de fotografia s.	N= 233 dentes anteriores.	As fotografias foram capturadas por um telemóvel. 3 dentistas rotularam previamente as imagens baseados na classificação ICDAS. Foram usados algoritmos <i>YOLO</i> e os melhores resultados foram melhorados com <i>transfer learning models</i> .	O modelo <i>YOLOv5x</i> e <i>YOLOv5l</i> foram os que alcançaram maior precisão no diagnóstico de cárie. <i>Transfer learning models</i> superaram as redes <i>YOLO</i> básicas. O modelo <i>VGG16</i> apresentou as pontuações mais altas de precisão. No geral, a taxa de precisão foi 86,96%.	Este modelo permite acesso a cuidados de saúde oral em áreas rurais com recursos limitados através da telemedicina.
<b>Ano:</b> 2023							
<b>Autores:</b> <i>Qingguang Chen Junchao Huang, et al.</i>	Investigar métodos totalmente automáticos para classificação de cárie em ortopantomografias.	DL- <i>U-Net</i> .	Diagnóstico de cárie através de ortopantomografias.	N= 1100 ortopantomografias rotuladas por 2 médicos dentistas.	O modelo <i>Mask RCNN</i> foi usado para individualização dos dentes e o modelo <i>U-Net</i> modificado para melhorar segmentação.	Cada dente pôde ser individualizado e classificado com sucesso. O modelo <i>U-Net</i> modificado obteve resultados de segmentação anatômica melhores que outros modelos.	Esta classificação de cárie permite ao clínico detetar lesões de cárie de forma automática em ortopantomografias.
<b>Ano:</b> 2023							
<b>Autores:</b> <i>Mary Jane C. Samonte, et al.</i>	Criar um sistema online de diagnóstico de cárie dentária que armazene os dados do paciente.	DL.	Diagnóstico de cárie através de triagem de informação médica.	N= 373 imagens intraorais para treinar o sistema.	Aplicação online que permite realizar uma triagem, capturar imagens intraorais pelo médico dentista e gerar automaticamente relatórios. O paciente pode aceder via telemóvel à aplicação e acompanhar todo o processo. Para análise da usabilidade e utilidade do uso desta ferramenta online para diagnóstico de cárie foram usados os questionários SUS (Escala de Usabilidade do Sistema) e UTAUT (Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia).	Um número igual de pessoas do género feminino e masculino participaram nos questionários. Pela análise dos mesmos revelou-se que os usuários consideram o sistema utilizável. O maior fator impulsionador para a aceitação do sistema foi ao nível do aspeto social. O fator que mais dificultou o processo foi o nível técnico, consideravelmente exigente para uso.	O diagnóstico de cárie online baseado em AI é uma ferramenta útil. É importante haver materiais instrucionais para tornar a experiência do uso do sistema fácil.
<b>Ano:</b> 2021							

<p><b>Autores:</b> <i>Seyed-Ali Sadegh-Zadeh, et al.</i></p> <p><b>Ano:</b> 2022</p>	<p>Investigar o potencial do desenvolvimento de <i>machine learning</i> para identificação dos fatores de risco de cárie dentária em crianças com idade inferior a 5 anos.</p>	<p><i>Machine learning.</i></p>	<p>Triagem dos fatores de risco para a doença cárie.</p>	<p>N= 780 pais e filhos, com idade inferior a 5 anos.</p>	<p>Foi preenchido um formulário de avaliação do risco de cárie da American Dental Association (ADA) pelos participantes. Todas as crianças foram examinadas. Foram usados diversos modelos de <i>machine learning</i>, tais como, regressão logística, <i>Extreme Gradient Boosting (XGBoost)</i>, <i>Random Forest</i>, <i>Decision Tree</i>, <i>K- Nearest Neighbours (k-NN)</i> e <i>Support Vector Machine (SVM)</i>.</p>	<p><i>Machine learning</i>, ajudou a criar algoritmos computacionais que permitem identificar diversos fatores de risco para cárie infantil.</p> <p><i>Multilayer Perceptron</i> e <i>Random Forest</i> foram os algoritmos que obtiveram melhor precisão (superior a 97%).</p>	<p>De modo a evitar lesões de cárie, é possível concentrar a atenção em cada indivíduo, com triagem do seu risco de desenvolver a doença, ao utilizar modelos de <i>machine learning</i>.</p>
<p><b>Autores:</b> <i>Hugh Devlin, et al.</i></p> <p><b>Ano:</b> 2021</p>	<p>Investigar de que forma o uso do <i>software AssistDent</i>, baseado e AI, melhora a capacidade dos médicos dentistas detetarem lesões de cárie circunscritas ao esmalte, em faces interproximais.</p>	<p><i>Machine learning.</i></p>	<p>Diagnóstico de cárie através de <i>bitewings</i>.</p>	<p>N= 23 médicos dentistas analisaram 24 radiografias.</p>	<p>Todos os médicos dentistas examinaram as mesmas imagens radiográficas e determinaram o diagnóstico final. Os utilizadores do <i>AssistDent</i> obtinham indicadores no ecrã sobre possíveis localizações das lesões, pela representação de setas. Havia a possibilidade de movimentar as imagens.</p>	<p>O uso do <i>software</i> de AI <i>AssistDent</i> resultou num aumento de 71% na capacidade de detetar cáries nas faces interproximais, somente no esmalte, e numa percentagem de 14,6% de identificações incorretas.</p>	<p>A reprodução gráfica do <i>AssistDent</i> é intuitiva e pode ser facilmente compreendida pelos pacientes. Melhora significativamente a capacidade diagnóstica.</p>
<p><b>Autores:</b> <i>Maryam Koopaie, et al.</i></p> <p><b>Ano:</b> 2021</p>	<p>Relacionar níveis de cistatina S com cárie na primeira infância (CPI) utilizando análise estatística e <i>machine learning</i>.</p>	<p><i>Machine learning.</i></p>	<p>Diagnóstico de cárie através de triagem de informação médica.</p>	<p>N= 20 crianças com cárie e 20 sem.</p>	<p>Foi feita examinação e recolha de informação do paciente aos pais. Amostras de saliva foram recolhidas por sucção. As concentrações de cistatina S foram determinadas utilizando o kit <i>ELISA</i>. O modelo de AI avaliou a eficácia da cistatina S na previsão de CPI, através das ferramentas <i>feed-forward</i> e <i>Random Forest</i>.</p>	<p>O valor médio da concentração salivar de cistatina S no grupo CPI foi 191,55±81,90 (ng/ml) e no grupo livre de cárie foi 370,06±128,87 (ng/ml). A concentração aumenta com a idade. A sensibilidade dos níveis de cistatina S salivar no diagnóstico de cárie foi de 95% e a sua especificidade foi de 65%.</p>	<p><i>Machine learning</i> melhora as habilidades de check-up e introduz relações de causa-efeito complexas de modo a proporcionar um diagnóstico precoce.</p>

<p><b>Autores:</b> Katarzyna Zaorska, <i>et al.</i></p> <p><b>Ano:</b> 2021</p>	<p>Avaliar a previsibilidade do risco de cárie, na dentição primária, pelos polimorfismos de nucleótido único (SNPs), utilizando a abordagem de redes neurais artificiais.</p>	<p>Rede neural artificial (ANN).</p>	<p>Diagnóstico de cárie através de triagem de informação médica.</p>	<p>N= 95 crianças, das quais 48 com lesões de cárie e 47 sãs.</p>	<p>Foi realizado exame clínico às crianças e o material biológico (amostras de DNA) foi obtido do epitélio oral, logo após exame clínico. Foram usados 6 modelos de redes neurais (NN1 a NN6).</p>	<p>Todos os modelos de AI alcançaram alta precisão de previsão, de 90,9% a 98,4%. O melhor modelo foi NN1. Os preditores/indicadores mais importantes foram AMELX rs17878486 e TUFT1 rs2337360. Os SNPs indicam alta suscetibilidade à cárie, tanto na dentição decídua quanto na permanente.</p>	<p>O modelo de previsão de redes neurais é uma ferramenta importante para triagem e tratamento preventivo precoce em pacientes com alto risco de desenvolvimento de CPI.</p>
<p><b>Autores:</b> Jin Xiao, <i>et al.</i></p> <p><b>Ano:</b> 2021</p>	<p>Refinar e testar a usabilidade de uma aplicação de telemóvel baseada em AI, <i>AlCaries</i>, para ser usada no diagnóstico de cárie.</p>	<p>Aplicação de telemóvel.</p>	<p>Diagnóstico de cárie através de aplicação interativa.</p>	<p>N= 84 participantes, 42 pais e 42 crianças.</p>	<p>Foi desenvolvida a aplicação <i>AlCaries</i>, que oferece deteção de cárie através de fotos dos dentes das crianças tiradas pelo telemóvel, avaliação interativa do risco de cárie materno e infantil e recursos educacionais sobre a redução do risco de CPI. Foi monitorada a usabilidade da aplicação.</p>	<p>A aplicação de telemóvel foi lançada a 6 de agosto de 2021 e esperou-se que a recolha e análise de dados fosse feita entre março e junho de 2022.</p>	<p>Uma aplicação de telemóvel amigável ao paciente, juntamente com a deteção de cárie alimentada por AI, é promissora em facilitar a confirmação clínica precoce e o tratamento.</p>
<p><b>Autores:</b> Nisreen Al-Jallad, <i>et al.</i></p> <p><b>Ano:</b> 2022</p>	<p>O presente estudo pretendeu obter <i>feedback</i> da usabilidade, aceitabilidade (fluxo da aplicação) e viabilidade de uma aplicação inovadora para telemóveis (<i>AlCaries</i>).</p>	<p>Aplicação de telemóvel.</p>	<p>Diagnóstico de cárie através de aplicação interativa.</p>	<p>N= 37 pais e 37 crianças.</p>	<p>Avaliou-se o fluxo e a funcionalidade da aplicação para melhorar os seus procedimentos. Testou-se no seu ambiente natural (casa) durante duas semanas. As fotos eram processadas por meio de um verificador de qualidade de imagem. Os utilizadores recebiam o risco de cárie como baixo, médio ou alto, e podiam escolher entre aceder a educação, em saúde oral perinatal, ou obter informações sobre clínicas dentárias.</p>	<p>A aplicação <i>AlCaries</i> recebeu nota média de 78,4 SUS (ferramenta confiável e amplamente utilizada para avaliar a usabilidade de produtos tecnológicos) dos participantes, indicando excelente aceitação. Notavelmente, a maioria (78,5%) das fotos dos dentes das crianças tiradas pelos pais eram de qualidade satisfatória. Os benefícios percebidos do uso da aplicação incluem triagem conveniente das lesões de cárie em casa, informações sobre o risco de desenvolver e educação sobre a doença com envolvimento de familiares.</p>	<p>Usando o <i>AlCaries</i>, os pais podem, de forma simples, melhorar a saúde oral dos seus filhos, com um diagnóstico possível de lesões cáries, como também obter conhecimentos essenciais sobre como reduzir o risco de cárie dos seus filhos.</p>



## 5- Discussão

### 5.1 Contextualização do Tema

#### 5.1.1 Cárie Dentária

As áreas de excelência para formação de cárie são as fossas e fissuras, sobretudo nos molares e dentes decíduos, onde estas são mais estreitas e/ou profundas. Os dentes superiores são mais comumente afetados. De igual forma, nos dentes decíduos, têm mais atividade os *Lactobacilos* e *Streptococos Mutans*, bactérias responsáveis pela formação de cárie. (1)

Dos vários fatores que influenciam e predispõem a doença cárie destacam-se os hábitos alimentares e a higiene oral. Fatores genéticos e imunológicos apresentam também elevada associação à doença. (1)(5) Os menores de idade devem ter supervisão no momento da higiene oral pelos seus prestadores de cuidados, especialmente os mais pequenos, para assumir a melhor eficácia possível. (1) Quando a cárie dentária não é tratada convenientemente, a lesão pode atingir o esmalte, a dentina e até mesmo o tecido pulpar, levando a dores intensas e até mesmo à perda da peça dentária. (2)(3)

Clinicamente, o diagnóstico de cárie é efetuado, fundamentalmente, pela inspeção visual-tátil. (3) Existem diversos métodos auxiliares como radiografias, tomografia computadorizada (CBCT), transiluminação infravermelha (TI), entre outros. Contudo, nos últimos anos, tem havido uma busca para métodos automatizados, baseados em inteligência artificial (AI), para ajudar os médicos dentistas a diagnosticar nos primeiros sinais clínicos e reduzir as limitações dos restantes métodos. (11) Como as radiografias são os métodos auxiliares mais recorridos na prática clínica, a maioria dos estudos de deteções automatizadas são sobre as mesmas. (10)

No caso de lesões cariosas precoces reversíveis, altura em que manchas brancas desmineralizadas podem ser remineralizadas com intervenções adequadas, que são difíceis de detetar em ambiente doméstico, o rastreio é fundamental e pode ser realizado com

auxílio de aplicações para o telemóvel. Desta forma, poupar a criança de tratamentos mais invasivos e preservar o máximo de estrutura dentária possível. (12)(11)

### 5.1.2 Inteligência Artificial

*Machine learning* é uma das formas mais comuns de AI, envolve um conjunto de instruções para processar e identificar padrões em grandes volumes de dados, permitindo obter indicações sem a necessidade de intervenção humana. Na área da saúde, onde há uma vasta quantidade de dados, desde sintomas clínicos até imagens médicas, são necessários algoritmos de *machine learning* para realizar tarefas de classificação e regressão. A aplicação desses algoritmos a dados clínicos traz diversos benefícios para os pacientes e médicos dentistas, como suporte à decisão clínica e desenvolvimento de diretrizes de cuidados médicos. (5)

**Redes neurais (NN)** consistem numa imitação de múltiplos neurónios e interconexões entre eles por onde passam informações. As ligações têm camadas de entrada que recebem os dados, camadas ocultas que realizam os processos computacionais e camadas de saída com obtenção de resultados. A grande vantagem da abordagem NN é que é capaz de usar múltiplos algoritmos de aprendizagem que detetam associações não lineares complexas entre as próprias variáveis e entre as variáveis e o resultado. (1)

A **rede neural artificial (ANN)**, ramo de *deep learning* (DL), à semelhança do cérebro humano, autoaprende com a experiência e adapta-se às diversas situações. DL é uma subclasse de *machine learning* e é capaz de lidar com conjuntos de dados mais complexos. (1)

**Rede neural convolucional (CNN)**, subclasse de ANN, baseada em DL, é o ramo mais utilizado na medicina dentária, e especificamente no diagnóstico de cárie, uma vez que apresenta atualmente uma ampla gama de aplicações computacionais para análise de imagens dentárias que desempenham funções como a deteção de objetos (reconhecimento

de pontos de referência), classificação e segmentação semântica. Desta forma, permitir um diagnóstico mais rápido e preciso. (6)(10)(8)

## 5.2 Aplicação da Inteligência Artificial no Diagnóstico de Cárie

AI tem sido vastamente usada para auxiliar no reconhecimento de imagens e diagnóstico de doenças em diversas áreas médicas, como oftalmologia, oncologia e radiologia. (9)

Na medicina dentária, o diagnóstico de lesões de cárie é uma das principais áreas de pesquisa em odontopediatria para a aplicação da AI. Existem diversas formas de utilização para auxiliar no diagnóstico, tais como, reconhecimento e interpretação de imagens, triagem de informação médica e aplicações interativas. (12)(13)(14)

Os modelos de AI mais usados nos artigos estudados foram os de DL e redes neurais convolucionais (CNNs), com suas derivações, tais como, *VGG-19*, *U-Net*, YOLO e *ConvNet*. Alguns modelos de *machine learning* disponíveis são o *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*, *Random Forest*, *Decision Tree*, *K- Nearest Neighbours (k-NN)* e *Support Vector Machine (SVM)*. (2)

### 5.2.1 Diagnóstico Através da Interpretação e Classificação de Imagens

Para o diagnóstico de cárie através de imagens, a aplicação de AI pode efetuar-se sobre fotografias de dentes e sobre imagens obtidas por métodos auxiliares de diagnóstico. Os exames auxiliares podem ser ortopantomografias, *bitewings*, periapicais, CBCT e TI. (11)(13)(8)(4)(10). As fotografias podem decorrer de dentes extraídos, com o objetivo de desenvolver sistemas virtuais, e de captura em boca com cobertura de várias regiões da cavidade oral. (11)(3)

Uma das principais formas de atuação das CNNs no diagnóstico de lesões de cárie através de, por exemplo, *bitewings* são a classificação (há lesão de cárie na imagem?), detecção (em que área está a lesão de cárie?) e segmentação (quais pixels na imagem são representativos da lesão de cárie?). (6) Estes mecanismos de reconhecimento em imagens podem identificar as lesões por alterações de forma, iluminação e distribuição de cores. (11) CNNs alcançaram grande sucesso neste campo por capturarem lesões subtis em radiografias, que geralmente são consideradas difíceis de detetar pelo exame somente clínico e não dependerem da experiência do médico dentista. (13)

Para garantir uma boa eficácia das CNNs, estas devem ser previamente treinadas com, preferencialmente, um grande número de amostras, que podem ser imagens radiográficas, imagens de TI, entre outros. Quanto melhor treinada maior capacidade de automatizar e classificar os padrões e mudanças. (11) Podem ser aplicados procedimentos de aumento do número de dados para obter maior volume de treinamento através da manipulação de imagens com rotações e ampliações. (8) *Transfer learning model*, ao contrário dos modelos tradicionais de *machine learning* que devem ser treinados, envolvem modelos pré-treinados em tarefas no mínimo semelhantes. É útil quando o conjunto de dados é reduzido. Com a utilização deste método consegue-se formar marcadores de diagnóstico digitais baratos que permitem o monitoramento da progressão das lesões. (15) A estratégia de mineração negativa sobre modelos de DL pode melhorar fortemente o desempenho do modelo da AI com o aumento da sensibilidade de localização e classificação das lesões de cárie. Caixas delimitadoras podem ser usadas para marcação das deteções. (3)

Três modelos de CNN pré-treinados, incluindo *VGG19*, *Inception V3* e *ResNet18*, foram utilizados e comparados no estudo de *Liwen Zheng, et al., 2021*. Estes modelos foram amplamente adotados e reconhecidos como o que há de mais moderno em tarefas de classificação de imagens médicas. As métricas de avaliação para o diagnóstico foram a acurácia, precisão, sensibilidade e especificidade. *ResNet18* integrado com parâmetros clínicos (sinais e sintomas) mostrou um desempenho significativamente melhorado. A técnica *Grad-Cam* pode ser usada como auxílio para o modelo de AI, pois permite visualizar as lesões e facilitar a tomada de decisão das CNNs. Funciona como mapas de calor, em que

a área vermelha representa o principal ponto de foco do modelo de AI, que por sua vez, corresponde à área de menor densidade. Conseqüentemente, pode servir como um método de *feedback* para os médicos dentistas, no sentido em que identifica áreas do seu interesse. (13)

*Bitewings* são um exemplo de método auxiliar de diagnóstico em que a sensibilidade permanece limitada. Nos estudos mais recentes essa limitação foi resolvida com as CNNs, com aumento da sensibilidade dos médicos dentistas para valores geralmente superiores a 70%. (6) A **ortopantomografia** está associada a distorção de imagem considerável e sobreposição de estruturas, daí não ser um método usado para o diagnóstico de cárie individualmente. Abordagens de segmentação e classificação, baseadas em DL, melhoram a interpretabilidade e desempenho diagnóstico deste exame. *Qingguang, et al., 2023*, determinou que a estrutura *U-Net* modificada melhora a performance na segmentação anatômica comparativamente a outros protótipos. Apesar da ambigüidade de limites, este modelo providenciou resultados precisos. A segmentação anatômica pode ser marcada com diferentes cores para delimitar as diferentes regiões. Em contrapartida, existem limitações para incisivos e caninos pela sua morfologia e tempo gasto para aplicação do algoritmo. (4)

O uso de **fotografias**, como dados de entrada, por uma CNN para diagnóstico precoce de cárie, apresenta um excelente custo-benefício para o médico dentista, uma vez que são o tipo de amostras mais similares com o observado no exame visual e de fácil obtenção. Nos dias de hoje, com qualquer câmara digital, profissional, intraoral ou um simples telemóvel, consegue-se realçar alta qualidade. (11) Com a realidade cada vez mais onnipresente de dispositivos contendo câmaras, o sistema DL pode ser propício em melhorar a conscientização sobre a doença cárie entre as populações. (3) Os protocolos clínicos para uso de fotografias devem guiar-se por padrões rígidos e abordagens adaptativas para diminuir ao máximo as variações da qualidade de imagem, muitas vezes não atingida pelas desigualdades de acesso à tecnologia pelos utilizadores. (15)

É importante salientar que as orientações e pareceres dos profissionais avaliadores fornecem a referência necessária para treinar e avaliar os modelos de AI, apesar de não

representarem necessariamente a verdade, sendo muitas vezes usados como alvo de comparação. Por vezes, o mesmo modelo de AI pode traduzir resultados assimilares fruto de vários fatores condicionantes, como o uso de diferentes conjuntos de dados, das diferenças de tamanho, diversidade, distribuição e qualidade das amostras. (8)

Algumas fontes primárias de incerteza para o uso de aplicações de AI são o desempenho na exatidão diagnóstica, os custos associados e o risco de cárie da população-alvo. Os modelos de custo-eficácia permitem estipular os eventuais efeitos na saúde a longo prazo e os custos resultantes. *F. Schwendicke et al., 2022*, concluiu que o uso de uma CNN para detetar lesões de cárie em *bitewings* tem uma grande chance de ter um bom custo-benefício. Descobriu também que o perfil de risco de cárie da população em que a AI é aplicada induz incerteza. No caso de uma população com alto risco (alta prevalência) leva a uma relação custo-eficácia considerável, enquanto numa população de baixo risco os falsos positivos são mais relevantes. Verificaram que o benefício por ter mais amostras de dados não aumentava linearmente e que no caso das populações de alto risco era mais custo-efetiva quando quantidades mínimas de dados eram usadas. Há necessidade de reunir heterogeneidade no conjunto de dados. (16)

Os pacientes interpretam como benefícios para a saúde (e custos adicionais) os tratamentos (que podem ser bem atribuídos ou não), daí a importância de um bom diagnóstico. Desta forma, é relevante para os profissionais reduzirem as incertezas em detrimento de um tratamento, assim como no uso de métodos mais sofisticados como a AI para um diagnóstico preciso. (16)

Vários autores corroboram que as CNNs apresentam boa precisão e eficiência na deteção de lesões de cárie precocemente e que essa precisão diagnóstica é superior à de médicos dentistas que não recorrem a AI. Para além disso, ainda têm o potencial de aumentar a confiabilidade nos profissionais. (16)(13) Em concordância, *Rasool Esmailyfard, et al., 2023*, confronta-nos com resultados de alta eficácia de *machine learning* cuja taxa de precisão diagnóstica foi superior a 94,6%. (8) Também *Xuan Zhang, et al., 2020*, defende a mesma tese, no caso desse estudo, para a técnica *ConvNets* multicamadas. (3)

## 5.2.2 Diagnóstico Através da Triagem de Informação Médica

Mecanismos de *machine learning* podem ser usados como ferramentas de triagem na medicina dentária, sendo bastante úteis para a saúde pública. Permitem através de algoritmos de computador relacionar um conjunto de variáveis, como por exemplo, os fatores que contribuem para o risco de desenvolver cárie numa criança, que, embora pareçam desafiadores para os seres humanos, tornam-se compreensíveis com a ajuda destes métodos de AI. (5) Estes modelos podem ser aplicados sobre formulários de avaliação de risco, como os da *American Dental Association* (ADA), com o objetivo de poder identificar e comparar simultaneamente características de indivíduos com e sem cárie ativa. Desta forma, e na prática clínica, prevê-se encontrar e visar grupos de alto risco de cárie para aplicação de medidas de prevenção rigorosas. (2) Dados importantes a serem recolhidos aos pais, em jeito de entrevista, para analisar o risco de cárie na criança, são os fatores socioeconómicos (características demográficas da criança e dos pais e nível de escolaridade destes), fatores biológicos (ingestão de medicamentos, peso ao nascer e amamentação noturna; hábitos alimentares e comportamentos de higiene oral) e experiência passada de cárie. (5)(2)

Assim como é importante diagnosticar, é importante armazenar os registos clínicos do paciente, relatórios, formulários e devidas anotações médicas, para documentação e monitoração pelo profissional e pelo paciente/cuidador. O estudo de *Mary Jane C. Samonte, et al., 2021*, criou uma aplicação online baseada em AI com incorporação de algoritmos de DL para um mecanismo de diagnóstico automático de cárie dentária e respetivo armazenamento dos dados. Esta funcionalidade permite ao paciente acompanhar os seus registos via dispositivo móvel, assim como atualizar a ficha médica do paciente por parte do médico dentista. Destaca-se a importância para a instrução do seu uso. (14)(2)

Conforme os padrões internacionais, as lesões de mancha branca foram incorporadas ao diagnóstico de cárie dentária, pois elas revelam a predisposição de um indivíduo a desenvolver cáries e são comuns na dentição decídua de crianças pequenas. É interessante notar que, mesmo com programas de tratamento e prevenção de cáries em idade pré-

escolar, aproximadamente 15% das crianças ainda desenvolvem a doença. Isso aponta para a existência de um fator genético intrínseco que afeta a vulnerabilidade individual às cáries. (1) Fatores genéticos e imunológicos estão associados ao risco de desenvolver cárie e ambos podem ser abordados pela AI através de *softwares* apropriados. A saliva contém componentes complexos, rica em biomarcadores, de grande valor diagnóstico. Quer a recolha de saliva quer a de amostras de DNA, são de armazenamento simples, não invasivo e económico, permitindo analisar ambos fatores de risco. Na constituição da saliva encontram-se proteínas que são fundamentais para a saúde oral, prevenindo a adesão e a agregação de bactérias causadoras de cárie, além de atuar na defesa contra microrganismos. A cistatina S é uma das proteínas salivares com esse efeito protetor e ainda de remineralização do esmalte. *Machine learning* estabelece uma relação de causa-efeito entre presença de cárie e valores de concentração da proteína. Níveis altos de cistatina S são indicadores de presença de cárie na primeira infância. (5) Modelos de previsão, de DL, para a incidência de cárie sobre os polimorfismos de nucleótido único (SNPs) revelaram haver alta suscetibilidade às lesões, tanto na dentição decídua quanto na permanente. Representam um fator genético de impacto considerável no curso da doença. Contudo, variações dos SNPs desempenham um papel importante ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento de uma criança. (1)

### 5.2.3 Diagnóstico Através de Aplicações Interativas

O diagnóstico baseado em AI através de aplicações interativas é maioritariamente via aplicações comerciais para o telemóvel. Essas aplicações são ferramentas inovadoras e práticas, capazes de fornecer de forma adequada intervenções ao nível da saúde oral, assim como já têm sido aplicadas com sucesso no gerenciamento de comportamentos individuais e condições de saúde geral. Apesar de ainda poucas aplicações no campo da saúde oral, de entre as aplicações de saúde geral disponíveis comercialmente, se forem amigáveis ao paciente e acessíveis para os pais, é promissor em facilitar a confirmação clínica precoce, juntamente com a deteção de cárie alimentada por AI. A *app AICaries* fornece uma panóplia

de funcionalidades desde recursos de educação para saúde materno-infantil (importância da saúde oral na gravidez, desenvolvimento dentário infantil, higiene oral infantil e recomendações dietéticas) a lista de clínicas dentárias disponíveis conforme as diversas acessibilidades. Para além disso, pais podem usar os seus telemóveis para tirar fotos dos dentes dos seus filhos para detetar cárie na primeira infância (CPI) e procurar tratamento de antemão. (12)(9)(3)

Por norma, os pais valorizam a saúde oral dos filhos e estão dispostos a investir em recursos para mantê-la. É fundamental a periodicidade de visitas ao consultório dentário para investir na prevenção. (17) Crianças socioeconomicamente desfavorecidas apresentam maiores dificuldades de acesso a profissionais e a consultas regulares pelo que surgiu a necessidade de sistemas de baixo custo que possam detetar lesões. (12)(3) As CNNs podem oferecer uma deteção de cárie dentária a um custo significativamente menor do que os exames dentários tradicionais. Dada a escassez de médicos dentistas em algumas regiões, a implementação das CNNs pode expandir a cobertura geográfica na identificação das lesões, com intervenções à distância. No entanto, para garantir a precisão no diagnóstico, há a necessidade de as redes serem treinadas com conjuntos de dados diversificados e ainda a possibilidade de um profissional ter de rever os resultados. (8)

### **5.3 Abordagem da Inteligência Artificial pelas Crianças**

A utilização da AI no diagnóstico de lesões de cárie dentária em crianças é uma abordagem inovadora e eficiente para melhorar a saúde oral infantil. Criar uma ponte de ligação eficaz entre a AI e as crianças envolve uma série de considerações técnicas, educacionais e éticas. (2)

As ferramentas de diagnóstico de cárie devem realçar os mecanismos de autoavaliação e centrarem-se no envolvimento dos pacientes, de modo ao processo de diagnóstico ser menos intimidante. Também devem ser direcionadas para a análise dos fatores de risco de cárie dentária e no prognóstico da doença. (2)(16)

A AI tem uma elevada capacidade de motivar a criança a ter métodos de higiene oral e a educá-la. A melhor forma de atuação para interagir com os mais pequenos é através das aplicações interativas que contêm recursos visuais. Alguns elementos interativos, como questionários e simulações, envolvem as crianças e reforçam a sua compreensão das estratégias de prevenção de cáries. Esta relação deve ser monitorada pelos pais (principais utilizadores) que podem usufruir de dicas, lembretes e atualizações do progresso da saúde oral dos seus filhos. (12)(9)

Embora a AI tenha o potencial de beneficiar grandemente a odontopediatria, é importante garantir que estas tecnologias sejam utilizadas de forma ética e em conformidade com os regulamentos de privacidade, especialmente quando se trata de dados de saúde sensíveis das crianças. Garantir que os pais ou responsáveis forneçam consentimento informado para o uso de AI no diagnóstico de cáries é inevitável, explicando claramente os benefícios, riscos e como os dados serão utilizados. Além disso, os profissionais de saúde devem ser devidamente formados na utilização de ferramentas de AI para maximizar a sua eficácia e segurança. É essencial observar que, embora a AI seja uma grande promessa no diagnóstico de cárie, ela deve sempre complementar a experiência dos médicos dentistas, em vez de substituí-la. (16)

Como a AI pode criar modelos preditivos que estimam a probabilidade de uma criança desenvolver cárie no futuro, podem ajudar a identificar pacientes de alto risco e permitir a intervenção precoce. As vantagens de desenvolver e implementar ferramentas educacionais alimentadas por AI para prevenção de cáries e diagnóstico precoce em odontopediatria passam por capacitar os pais a assumir um papel proativo na saúde oral das suas crianças e equipar os médicos dentistas com pacientes mais bem informados. (2)

#### **5.4 Futuro da Inteligência Artificial no Diagnóstico de Cárie em Odontopediatria**

Ao aproveitar o poder da AI para analisar registos dentários pediátricos, os pesquisadores podem ganhar uma compreensão mais profunda do desenvolvimento de cárie em crianças.

Este conhecimento pode levar a estratégias de prevenção e tratamento mais direcionadas e eficazes, melhorando a saúde oral dos pacientes pediátricos e reduzindo a prevalência de cáries nesta população vulnerável. Garantir a transparência no funcionamento dos sistemas de AI e como as decisões são tomadas ajudará a construir a confiança dos pacientes pelos profissionais de saúde. (6)(16)(15)

A telemedicina, combinada com AI, facilitará consultas remotas, onde imagens enviadas pelos pacientes podem ser analisadas primeiramente por AI antes da consulta com o médico dentista, otimizando o tempo e os recursos. (15)

Uma compreensão clara das técnicas e conceitos da AI certamente terá uma vantagem no futuro próximo. Realça-se a responsabilidade dos médicos dentistas para se focarem na recolha e inserção de amostras numa base de dados, para que possam vir a ser usadas pela AI no consultório dentário. Sistemas de DL podem aprender a adaptar-se continuamente à medida que novos dados se tornam disponíveis, garantindo que a pesquisa e as recomendações permaneçam atualizadas e relevantes. (14) Os profissionais têm a liberdade de adotar o método de aplicação da AI que lhe for mais conveniente na prática clínica, para ser usado no dia-a-dia. (10)

Com a AI, o futuro da odontopediatria promete ser mais eficiente e centrado no paciente.

## 5.5 Limitações

- Poucos ensaios clínicos randomizados que demonstrem a utilidade e o impacto prospetivos das ferramentas de AI para diagnósticos na medicina dentária num ambiente de mundo real.
- Tamanho das amostras é geralmente reduzido.
- Poucos estudos com acompanhamento dos resultados e repercussão dos seus efeitos a longo prazo, visto a maioria dos artigos serem recentes.
- Poucos artigos na literatura direcionados particularmente para a população-alvo.
- Falta de orientação para os médicos dentistas ao nível do envolvimento e integração da AI na sua prática clínica.



## **6- Conclusão**

A AI, em odontopediatria, encontra-se atualmente numa fase incipiente e está a evoluir rapidamente de dia para dia. Por conseguinte, esta ferramenta beneficia os médicos dentistas na prestação de cuidados de elevada qualidade aos doentes, na educação das crianças e na simplificação de protocolos de diagnóstico. Apresenta elevado potencial em aumentar os padrões de atendimento personalizado com a realização de uma diversidade de tarefas a custos acessíveis de modo a integrar todos. Das diversas formas de aplicar AI no auxílio do diagnóstico de cárie destacam-se a interpretação e classificação de imagens dentárias, triagem de informação médica e aplicações interativas.

A criação de uma ponte de ligação eficaz entre a AI e as crianças para o diagnóstico de cárie dentária requer uma abordagem multidisciplinar. Os pais têm um papel essencial para que as ferramentas desenvolvidas sejam acessíveis, eficazes e bem recebidas pelas crianças. Com uma implementação cuidadosa, este método diagnóstico pode transformar a maneira como cuidamos da saúde oral infantil, proporcionando diagnósticos mais precisos e precoces. Pode também permitir inculcar hábitos de higiene oral saudáveis mais cedo.

A AI nunca poderá substituir o exame clínico, mas é, sem dúvida, uma grande ajuda a nível individual e comunitário, garantindo que o toque humano não seja perdido. Uma compreensão clara das técnicas e conceitos da AI terá certamente uma vantagem no futuro próximo. De igual forma, realça-se a responsabilidade dos médicos dentistas para se concentrarem na recolha e inserção de amostras numa base de dados para que possam vir a ser usadas por este sistema na prática clínica.

Estudos futuros deverão refletir sobre a adaptação e aplicação da AI a cada paciente e sobre a metodologia de trabalho do médico dentista, de modo a gerar um maior ganho para os profissionais e apoiar no esforço para uma prática clínica mais personalizada.



## 7- Referências Bibliográficas

1. Zaorska K, Szczapa T, Borysewicz-Lewicka M, Nowicki M, Gerreth K. Prediction of Early Childhood Caries Based on Single Nucleotide Polymorphisms Using Neural Networks. *Genes*. 24 de março de 2021;12(4):462.
2. Sadeqh-Zadeh SA, Rahmani Qeranqayeh A, Benkhalifa E, Dyke D, Taylor L, Bagheri M. Dental Caries Risk Assessment in Children 5 Years Old and under via Machine Learning. *Dent J*. setembro de 2022;10(9):164.
3. Development and evaluation of deep learning for screening dental caries from oral photographs. [citado 11 de abril de 2024]; Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/odi.13735>
4. Chen Q, Huang J, Zhu H, Lian L, Wei K, Lai X. Automatic and visualized grading of dental caries using deep learning on panoramic radiographs. *Multimed Tools Appl*. 1 de junho de 2023;82(15):23709–34.
5. Koopaie M, Salamati M, Montazeri R, Davoudi M, Kolahdooz S. Salivary cystatin S levels in children with early childhood caries in comparison with caries-free children; statistical analysis and machine learning. *BMC Oral Health*. 18 de dezembro de 2021;21(1):650.
6. Mertens S, Krois J, Cantu AG, Arsiwala LT, Schwendicke F. Artificial intelligence for caries detection: Randomized trial. *J Dent*. 1 de dezembro de 2021;115:103849.
7. Schwendicke F, Mertens S, Cantu AG, Chaurasia A, Meyer-Lueckel H, Krois J. Cost-effectiveness of AI for caries detection: randomized trial. *J Dent*. 1 de abril de 2022;119:104080.
8. Esmaeilyfard R, Bonyadifard H, Paknahad M. Dental Caries Detection and Classification in CBCT Images Using Deep Learning. *Int Dent J*. 1 de abril de 2024;74(2):328–34.
9. Xiao J, Luo J, Ly-Mapes O, Wu TT, Dye T, Jallad NA, et al. Assessing a Smartphone App (AICaries) That Uses Artificial Intelligence to Detect Dental Caries in Children and Provides Interactive Oral Health Education: Protocol for a Design and Usability Testing Study. *JMIR Res Protoc*. 22 de outubro de 2021;10(10):e32921.
10. Casalegno F, Newton T, Daher R, Abdelaziz M, Lodi-Rizzini A, Schürmann F, et al. Caries Detection with Near-Infrared Transillumination Using Deep Learning. *J Dent Res*. outubro de 2019;98(11):1227–33.
11. Portella PD, de Oliveira LF, Ferreira MF de C, Dias BC, de Souza JF, Assunção LR da S. Improving accuracy of early dental carious lesions detection using deep learning-based automated method. *Clin Oral Investig* [Internet]. 31 de outubro de 2023 [citado 23 de novembro de 2023]; Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05355-x>

12. Al-Jallad N, Ly-Mapes O, Hao P, Ruan J, Ramesh A, Luo J, et al. Artificial intelligence-powered smartphone application, AICaries, improves at-home dental caries screening in children: Moderated and unmoderated usability test. *PLOS Digit Health*. 2 de junho de 2022;1(6):e0000046.
13. Zheng L, Wang H, Mei L, Chen Q, Zhang Y, Zhang H. Artificial intelligence in digital cariology: a new tool for the diagnosis of deep caries and pulpitis using convolutional neural networks. *Ann Transl Med*. maio de 2021;9(9):763.
14. Samonte MJ, Dy Po D, Quito LA, Villanueva SL. A Web-based Dental Caries Detection System Using Image Recognition and Deep Learning with SUS and UTAUT Analysis. Em: *Proceedings of the 7th International Conference on Frontiers of Educational Technologies [Internet]*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery; 2021 [citado 11 de abril de 2024]. p. 132–7. (ICFET '21). Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3473141.3473238>
15. Tareq A, Faisal MI, Islam MS, Rafa NS, Chowdhury T, Ahmed S, et al. Visual Diagnostics of Dental Caries through Deep Learning of Non-Standardised Photographs Using a Hybrid YOLO Ensemble and Transfer Learning Model. *Int J Environ Res Public Health*. janeiro de 2023;20(7):5351.
16. Schwendicke F, Cejudo Grano de Oro J, Garcia Cantu A, Meyer-Lueckel H, Chaurasia A, Krois J. Artificial Intelligence for Caries Detection: Value of Data and Information. *J Dent Res*. 1 de outubro de 2022;101(11):1350–6.
17. Devlin H, Williams T, Graham J, Ashley M. The ADEPT study: a comparative study of dentists' ability to detect enamel-only proximal caries in bitewing radiographs with and without the use of AssistDent artificial intelligence software. *Br Dent J*. 2021;231(8):481–5.

