



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE CÁRIE DENTÁRIA: TRANSILUMINAÇÃO E FLUORESCÊNCIA VERSUS RADIOGRAFIA DIGITAL – REVISÃO SISTEMÁTICA

[Methods for the diagnosis of dental caries: transillumination and fluorescence versus
digital radiography – Systematic Review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Manuel-Audryan BRIQUET- -TORVIC

Orientador:

Professora Doutora Lúcia Pereira da Silva

Junho 2025

**MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE CÁRIE DENTÁRIA:
TRANSILUMINAÇÃO E FLUORESCÊNCIA VERSUS
RADIOGRAFIA DIGITAL – REVISÃO SISTEMÁTICA**

[Methods for the diagnosis of dental caries: transillumination and fluorescence versus
digital radiography – Systematic Review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Manuel-Audryan BRIQUET- -TORVIC

Orientador:

Professora Doutora Lígia Pereira da Silva

Junho 2025

Ao Antony NOËL e à Vanessa BRIQUET,
por tudo o que foram, por tudo o que continuam a ser.
Durante este percurso, houve momentos em que tive de fazer escolhas difíceis.
Hoje, ao chegar até aqui, compreendo o seu valor.
Acredito que o vosso apoio, mesmo em silêncio, esteve sempre comigo.
Esta tese é para vocês.

AGRADECIMENTOS

Começo por deixar o meu especial agradecimento à minha orientadora, Professora Doutora Lígia Silva, por me acompanhar do início ao fim deste trabalho. A sua disponibilidade constante, clareza na orientação e prontidão nas respostas foram fundamentais para o meu bom desenvolvimento. Tive ainda o privilégio de contactar e privar logo no pré-clínico com esta excelente profissional que me transmitiu desde o início o gosto pela medicina dentária. Começou por ser o meu primeiro exemplo e desde então, admiro profundamente a atenção, o detalhe e a sua exigência construtiva. Apesar de agora nos depararmos com um exercício académico diferente, consigo reconhecer novamente os mesmos valores de rigor, dedicação e excelência que me transmitiu desde o princípio.

Aos meus pais, por acreditarem sempre em mim e me apoiarem em todas as minhas escolhas. A confiança inabalável, a exigência com afeto e os conselhos do dia a dia foram fundamentais ao longo deste percurso. Obrigado por me incentivarem constantemente a superar os meus limites.

Aos meus irmãos, que foram pilares no meu desenvolvimento pessoal e académico. Estiveram sempre ao meu lado, dando apoio de forma incondicional e partilhando palavras de força e certeza nos momentos de dúvida. A vossa presença constante e todos os conselhos foram imprescindíveis ao longo deste percurso. Agradeço-vos profundamente.

Aos meus amigos com quem partilhei anos intensos, amizades verdadeiras e momentos inesquecíveis. Espero que o laço que conseguimos formar resista ao tempo e que nos acompanhe pela vida fora.

Aos docentes da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade Fernando Pessoa, pela partilha de conhecimentos durante estes anos, por vincarem em mim esta paixão pela medicina dentária e por me acolherem de uma forma tão familiar.

Aos pacientes, pela confiança depositada nos cuidados prestados, que permitiu consolidar a prática clínica com responsabilidade e humanidade.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para este percurso, mesmo que não tenham sido aqui nomeados, deixo o meu sincero agradecimento.

RESUMO

Introdução: A detecção precoce da cárie dentária não cavitada é fundamental para o sucesso de intervenções minimamente invasivas. Métodos óticos, como a fluorescência e a transiluminação por luz próxima do infravermelho (NIR-TI), têm-se destacado como alternativas à radiografia digital, oferecendo maior sensibilidade e precisão diagnóstica em fases iniciais da doença. **Materiais e métodos:** Esta revisão sistemática seguiu as diretrizes PRISMA e foi registrada na base PROSPERO (CRD42024505959). Foram incluídos estudos clínicos comparativos *in vivo* realizados em dentes permanentes que avaliaram a eficácia diagnóstica da fluorescência e/ou da NIR-TI em relação à radiografia digital. Os principais *outcomes* considerados foram sensibilidade, especificidade, precisão e aplicabilidade clínica. **Resultados:** Foram incluídos quinze estudos para análise. A fluorescência mostrou elevada sensibilidade em superfícies oclusais; a NIR-TI apresentou bons níveis de precisão e sensibilidade para lesões interproximais. A radiografia digital, por sua vez, destacou-se pela especificidade. A combinação entre os métodos resultou numa maior eficácia diagnóstica. **Conclusão:** A utilização combinada de recursos de diagnóstico por imagem contribui para decisões clínicas mais seguras e conservadoras. Estudos futuros devem padronizar metodologias de investigação e avaliar os resultados destas tecnologias na prática clínica real e diária.

Palavras-chave: “Cárie dentária”, “Detecção precoce”, “Lesões não cavitadas”, “Fluorescência”, “Transiluminação por luz próxima do infravermelho (NIR-TI)”, “Radiografia digital”, “Precisão diagnóstica”

ABSTRACT

Introduction: The early detection of non-cavitated dental caries is fundamental to the success of minimally invasive interventions. Optical methods, such as fluorescence and near-infrared light transillumination (NIR-TI), have gained prominence as alternatives to digital radiography, offering greater sensitivity and diagnostic precision in the early stages of the disease. **Materials and Methods:** This systematic review followed the PRISMA guidelines and was registered in the PROSPERO database (CRD42024505959). Comparative in vivo clinical studies conducted on permanent teeth that assessed the diagnostic efficacy of fluorescence and/or NIR-TI in relation to digital radiography were included. The main outcomes considered were sensitivity, specificity, precision, and clinical applicability. **Results:** Fifteen studies were included for analysis. Fluorescence showed high sensitivity on occlusal surfaces, while NIR-TI demonstrated good levels of precision and sensitivity for interproximal lesions. Digital radiography, in turn, was notable for its specificity. The combination of methods resulted in greater diagnostic efficacy. **Conclusion:** The combined use of imaging diagnostic resources contributes to safer and more conservative clinical decision-making. Future studies should standardize research methodologies and evaluate the outcomes of these technologies in real and daily clinical practice.

Keywords: “Dental caries”, “Non-cavitated lesions”, “Early detection”, “Fluorescence”, “Near-infrared transillumination (NIR-TI)”, “Digital radiography”, “Diagnostic precision”

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
2.1. Estratégia PICO	5
2.2. Critérios de inclusão, exclusão e elegibilidade.....	6
2.3. Recolha e tratamento dos dados recolhidos.....	7
2.4. Método de avaliação da qualidade metodológica dos estudos	8
3. RESULTADOS	9
3.1. Diagrama de fluxo PRISMA	9
3.2. Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés	11
3.3. Caracterização metodológica dos estudos incluídos	14
3.3.1 Sensibilidade dos métodos diagnósticos avaliados	16
3.3.2 Especificidade dos métodos diagnósticos avaliados	17
3.3.3 Precisão dos métodos diagnósticos avaliados	19
4. DISCUSSÃO	23
4.1 Fluorescência	23
4.2 Transiluminação	24
4.3 Radiografia digital	25
4.4 Abordagem combinada de várias técnicas de imagem.....	27
4.5 Limitações da presente revisão.....	28
4.6 Perspetivas para investigações futuras	29
5. CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de fluxo PRISMA (Preferred reporting items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para revisões sistemáticas.....	10
---	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Pergunta de pesquisa formulada utilizando o acrónimo PICO.....	5
Tabela 2 Palavras-chave e respetivas combinações usadas para as pesquisas em bases de dados eletrónicas.....	6
Tabela 3 Pontuação metodológica (Jadad), nível de viés e limitações predominantes dos estudos incluídos.....	12
Tabela 4 Características metodológicas dos estudos incluídos na revisão sistemática ..	15
Tabela 5 Sensibilidade dos métodos diagnósticos avaliados.....	16
Tabela 6 Especificidade dos métodos diagnósticos avaliados.....	18
Tabela 7 Precisão diagnóstica dos métodos avaliados	20

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Critérios de avaliação da qualidade metodológica segundo a escala de Jadad	37
--	----

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS

IA	Inteligência Artificial
ICDAS	Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cáries (do inglês <i>International Caries Detection and Assessment System</i>)
LEDs	Díodo Emissor de Luz (do inglês: <i>Light-Emitting Diode</i>)
MeSh	Vocabulário Controlado de Termos Biomédicos Usados para a Indexação de Documentos (do inglês <i>Medical Subject Headings</i>)
Micro-CT	Microtomografia de Raios-X
n	Número
NILT	Transiluminação por Luz Infravermelha (do inglês <i>Near-Infrared Transillumination</i>)
nm	Nanómetro
PICO	Participantes, Intervenção, Comparação e Resultados (do inglês <i>Participants, Intervention, Comparison, Outcome</i>)
PRISMA	Itens de relatórios preferenciais para revisões sistemáticas e meta-análises (do inglês <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis</i>)
PROSPERO	O Registro Prospetivo Internacional de Revisões Sistemáticas (do inglês <i>The International Prospective Register of Systematic Reviews</i>)
QLF	Fluorescência Quantitativa Induzida por Luz (do inglês <i>Quantitative Light-Induced Fluorescence</i>)
™	Marca Registada (do inglês <i>Trademark</i>)
WHO	Organização Mundial de Saúde (do inglês <i>World Health Organization</i>)
®	Marca Registada (do inglês <i>Registered</i>)

1. INTRODUÇÃO

A cárie dentária continua a ser uma das doenças crônicas não transmissíveis mais prevalentes no mundo, afetando indivíduos de todas as idades, gêneros e condições socioeconômicas. De acordo com o estudo *Global Burden of Disease*, cerca de 2,4 mil milhões de pessoas são afetadas por cárie não tratada em dentes permanentes e mais de 620 milhões de crianças apresentam cárie em dentes decíduos, o que demonstra a amplitude deste problema de saúde pública (Kassebaum et al., 2015).

Além de sua alta prevalência, a cárie dentária tem um impacto significativo na qualidade de vida, principalmente quando não tratada. Em fases mais avançadas, pode causar dor, desconforto, dificuldade na alimentação e no sono, além de afetar negativamente o desempenho escolar e social de crianças e adolescentes. Esses impactos estendem-se também à saúde sistêmica, com estudos recentes demonstrando possíveis associações entre saúde oral deficiente e doenças cardiovasculares, diabetes e partos prematuros (Peres et al., 2019).

A Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*, WHO) reconhece a cárie dentária como uma das condições mais comuns e negligenciadas no plano global, ressaltando que a maioria dos tratamentos médico-dentários é centrada na lesão de cárie, representando um custo significativo para os sistemas de saúde pública. O acesso limitado a serviços preventivos e restauradores contribui para a persistência do problema (WHO, 2022).

Neste contexto, a promoção de estratégias preventivas eficazes assume um papel fundamental. Intervenções baseadas na promoção da saúde oral, no controlo de fatores de risco e na deteção precoce de lesões cariosas são fundamentais para reduzir a carga global da doença. A identificação e tratamento das lesões de cárie em estágios iniciais, antes da sua progressão à dentina, permitem evitar tratamentos invasivos e dispendiosos, favorecendo uma abordagem minimamente invasiva e mais sustentável a longo prazo (Pitts et al., 2017).

A deteção precoce da cárie dentária desempenha um papel essencial na prevenção da sua progressão para estágios mais avançados e irreversíveis. Lesões iniciais, frequentemente observadas na forma de manchas brancas, indicam um desequilíbrio no processo de remineralização e representam um estágio reversível da desmineralização do esmalte.

Quando identificadas precocemente, essas lesões não cavitadas podem ser tratadas com medidas preventivas como a aplicação tópica de fluoretos, selantes ou intervenções dietéticas, evitando a necessidade de restaurações invasivas e favorecendo a manutenção da estrutura dentária saudável (Ismail & Pitts, 2004; Ekstrand et al., 2008; Machado et al., 2021).

A falha na sua detecção, por outro lado, está associada à progressão da doença, à necessidade de intervenções restauradoras mais extensas e à perda de tecido dentário. Além disso, o diagnóstico precoce facilita o acompanhamento da atividade da lesão ao longo do tempo e sustenta uma abordagem clínica baseada em evidência (Turska-Szybka et al., 2022; Schwendicke et al., 2016).

Portanto, a ênfase na identificação adequada das lesões não cavitadas justifica a necessidade de aperfeiçoar os métodos diagnósticos atuais, promovendo abordagens mais conservadoras, eficazes e centradas na preservação da estrutura dentária. Assim, a detecção precoce da cárie dentária é fundamental para prevenir a sua progressão e permitir intervenções minimamente invasivas. Lesões iniciais, como as lesões de mancha branca, representam um estágio reversível da desmineralização do esmalte e podem ser tratadas com medidas preventivas adequadas (Featherstone, 2004).

O diagnóstico da cárie dentária tem sido tradicionalmente realizado por meio de métodos convencionais, como o exame visual-clínico e as radiografias interproximais tipo *bitewing*. O exame visual, padronizado por sistemas como o ICDAS (*International Caries Detection and Assessment System*), permite ao clínico avaliar a progressão das lesões cáries com base em critérios visuais objetivos, classificando-as em diferentes estágios de severidade (Pitts & Ekstrand, 2013). Apesar da sua ampla aplicabilidade clínica, o exame visual apresenta limitações importantes, principalmente na detecção de lesões interproximais e subsuperficiais, que não são visíveis a olho nu. As radiografias interproximais, por sua vez, representam um dos métodos mais utilizados para o diagnóstico de lesões ocultas, especialmente nas superfícies proximais dos dentes posteriores. Contudo, o seu uso implica exposição a radiação ionizante, além de apresentar baixa sensibilidade para a detecção de lesões iniciais em esmalte, o que pode resultar em diagnósticos tardios (Caceda et al., 2023).

A utilização de ferramentas diagnósticas modernas, como a fluorescência induzida por luz, a transiluminação por luz infravermelha e a microtomografia computadorizada (micro-CT), pode melhorar a precisão na detecção de lesões iniciais e auxiliar no processo

de decisão clínica (Turska-Szybka et al., 2023). Estas abordagens modernas alinham-se com os princípios da Medicina Dentária minimamente invasiva, ao permitir a deteção precoce e o acompanhamento das lesões antes da necessidade de intervenção restauradora invasiva (Serban et al., 2022).

A fluorescência induzida por laser baseia-se na propriedade de certos tecidos dentários e metabólitos bacterianos emitirem fluorescência sob luz de comprimento de onda específico. Em dentes com lesões cariosas, a emissão fluorescente é alterada como resultado da desmineralização e da presença de porfirinas bacterianas. O DIAGNOdent® (Kavo, Henry Schein®, Estados Unidos da América), por exemplo, utiliza um laser de diodo de 655 nanómetros (nm) para registar a intensidade da fluorescência, convertendo-a em valores numéricos que auxiliam na avaliação da profundidade da lesão. Já o QLF™ (*Quantitative Light-induced Fluorescence*) permite a visualização direta e quantitativa da perda mineral em esmalte, sendo útil não apenas para o diagnóstico, mas também para o acompanhamento longitudinal da lesão (Serban et al., 2022).

A transiluminação por luz infravermelha (ou NILT– *Near-Infrared Transillumination*) explora a capacidade da luz infravermelha de atravessar o esmalte dentário e evidenciar alterações estruturais, como áreas de desmineralização. Essa técnica é especialmente útil na deteção de lesões interproximais e oclusais não cavitadas, muitas vezes não visíveis clínica ou radiograficamente. O DIAGNOcam® (Kavo, Henry Schein®) por exemplo, utiliza LEDs de luz infravermelha em combinação com sensores digitais para gerar imagens em tempo real, sem necessidade de radiação ionizante, oferecendo uma alternativa segura e repetível para o acompanhamento clínico (Kocak & Cengiz-Yanardag, 2020).

Entre os principais benefícios destas tecnologias estão a ausência de radiação – tornando-as seguras para uso frequente, especialmente em crianças e adolescentes – e a maior sensibilidade na deteção de lesões iniciais em comparação aos métodos tradicionais.

Apesar do potencial clínico, as tecnologias baseadas em fluorescência e transiluminação ainda apresentam limitações que merecem consideração. Estudos relatam variabilidade nos índices de sensibilidade e especificidade, especialmente em ambientes clínicos reais, além de desafios relacionados à padronização da técnica e à interpretação dos resultados. O custo elevado de aquisição e manutenção dos equipamentos pode limitar a sua adoção em larga escala, sobretudo em serviços públicos ou regiões com menor disponibilidade de recursos tecnológicos (Elsawaf et al., 2024).

A ausência de um consenso claro sobre a precisão, sensibilidade e especificidade das tecnologias de fluorescência e transiluminação frente aos métodos tradicionais reforça a necessidade de uma análise sistemática e crítica da literatura existente.

Portanto, a presente revisão sistemática tem como objetivo avaliar a eficácia das técnicas baseadas em fluorescência e transiluminação infravermelha no diagnóstico de lesões cáries em esmalte, em comparação com os métodos convencionais. Esta análise procura fornecer informação para uma prática clínica mais segura, eficaz e fundamentada cientificamente, com especial ênfase na detecção precoce das lesões cáries e na promoção da prática de uma Medicina Dentária minimamente invasiva.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Estratégia PICO

O protocolo envolvido na elaboração da presente revisão está registado na base de dados PROSPERO (*The International Prospective Register of Systematic Reviews*) com o seguinte código de identificação: **CRD420251038829**.

Para a elaboração desta revisão sistemática, foi realizada uma pesquisa de artigos nas bases de dados: *PubMed*, *Google Scholar* e *Science Direct*, considerando publicações no período de 2004 a 2024. Pretendeu-se com este trabalho de revisão sistemática da literatura responder à seguinte questão: “As tecnologias baseadas em fluorescência laser e transiluminação por luz infravermelha apresentam maior sensibilidade, especificidade e precisão na deteção precoce de lesões de cárie não cavitadas, quando comparadas à radiografia digital?”

Para estruturar esta investigação, utilizou-se o modelo PICO (População, Intervenção, Comparação e *Outcome*) (cf. Tabela 1).

Tabela 1.

Pergunta de pesquisa formulada utilizando o acrónimo PICO.

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Participantes (P)	Dentes humanos permanentes, com lesões de cárie incipientes (não cavitadas), localizadas em superfícies oclusais ou interproximais
Intervenção (I)	Métodos de diagnóstico de imagem baseados em transiluminação e/ou fluorescência
Comparação (C)	Métodos de diagnóstico de imagem convencionais, como radiografia digital e exame visual
<i>Outcome</i> (O)	Avaliação da sensibilidade, especificidade e precisão dos métodos diagnósticos na deteção de lesões cariosas incipientes

P- Participantes; I – Intervenção; C – Comparação; O - Outcome

2.2. Critérios de inclusão, exclusão e elegibilidade

A pesquisa foi conduzida utilizando os seguintes MeSh Terms: "laser fluorescence", "quantitative light-induced fluorescence", "DIAGNOdent®", "near-infrared transillumination", "DIAGNOcam®", "dental caries detection", "early caries", "bitewing radiography" e "ICDAS". Os termos de pesquisa foram combinados através dos operadores booleanos AND e OR, para otimizar a sensibilidade e especificidade da pesquisa, da seguinte forma (cf. Tabela 2):

Tabela 2

Palavras-chave e respectivas combinações usadas para as pesquisas em bases de dados eletrônicas.

BASE DE DADOS	EQUAÇÃO DE BUSCA
<i>Pubmed</i>	(fluorescence OR "laser fluorescence" OR "autofluorescence" OR DIAGNOdent® OR QLF) AND (transillumination OR "near-infrared transillumination" OR DIAGNOcam® OR NILT) AND ("dental caries" OR "caries detection" OR "incipient caries" OR "non-cavitated caries" OR "early caries" OR "early enamel lesions" OR "white spot lesions") (fluorescence OR "laser fluorescence" OR "autofluorescence" OR DIAGNOdent® OR QLF) AND (transillumination OR "near-infrared transillumination" OR DIAGNOcam® OR NILT) AND ("dental caries" OR "caries detection" OR "incipient caries" OR "non-cavitated caries" OR "early caries" OR "early enamel lesions" OR "white spot lesions")
<i>Google Scholar</i>	("laser fluorescence" OR "QLF" OR "DIAGNOdent®") AND ("transillumination" OR "NILT" OR "DIAGNOcam®") AND ("dental radiography" OR "digital radiography" OR "bitewing") AND ("caries detection" OR "early caries" OR "non-cavitated caries")
<i>Science Direct</i>	("laser fluorescence" OR "DIAGNOdent®") AND ("transillumination" OR "DIAGNOcam®") AND ("dental caries") AND (comparison OR accuracy OR sensitivity)

NILT - Transiluminação por Luz Infravermelha (do inglês Near-Infrared Transillumination); QLF Fluorescência Quantitativa Induzida por Luz (do inglês Quantitative Light-Induced Fluorescence).

Foram incluídos artigos publicados nos últimos 20 anos que atendiam à pergunta PICO, ou seja, estudos relacionados com os métodos de fluorescência a laser e transiluminação por luz infravermelha aplicados ao diagnóstico precoce de cáries dentárias incipientes. A pesquisa visou estudos de tipologia ensaio clínico randomizado.

Os critérios de inclusão aplicados foram os seguintes: (1) Estudos realizados exclusivamente em dentes permanentes erupcionados, (2) Estudos conduzidos em seres humanos, (3) Investigações realizadas em dentes sem grandes restaurações, selantes extensos, fraturas, coroas protéticas ou outras alterações estruturais que pudessem interferir na detecção de cáries, (4) Estudos que investigaram a eficácia diagnóstica de técnicas baseadas em fluorescência (tais como, DIAGNOdent®, *Quantitative Light-Induced Fluorescence* – QLF™) e/ou transiluminação por luz infravermelha (a exemplo, *Near-Infrared Light Transillumination* – NILT ou DIAGNOcam®), (5) Estudos que realizaram comparações entre os métodos mencionados e métodos de diagnóstico convencionais e (6) Estudos que avaliaram a precisão, sensibilidade e especificidade dos métodos testados.

Como critérios de exclusão salientam-se os seguintes: (1) Estudos que incluíram lesões cavitadas mais extensas ou profundas (com envolvimento da dentina), (2) Estudos com ênfase exclusiva em intervenções ou tratamentos restauradores, sem avaliação diagnóstica, (3) Estudos que não incluíram um grupo de controlo ou referência, (4) Estudos que indicavam como limitação apresentar tamanho amostral insuficiente para garantir validade estatística, ausência de dados quantitativos ou investigações com metodologia inadequada e, por fim, (5) Estudos que não identificavam claramente a superfície do dente avaliada.

2.3. Recolha e tratamento dos dados recolhidos

Para comparar os diferentes métodos de diagnóstico abordados nesta revisão, foi necessário recolher um conjunto de informações fundamentais a partir de cada estudo incluído. Em primeiro lugar, registaram-se os dados relacionados com a amostra – número de participantes, idade, tipo de dentes avaliados – bem como as superfícies dentárias analisadas, nomeadamente as regiões oclusais e interproximais. Foi também identificada a técnica de diagnóstico utilizada (fluorescência a laser ou transiluminação por luz infravermelha), o método convencional de comparação (radiografia digital) e, o

equipamento utilizado, como o DIAGNOdent®, o QLF™ ou o DIAGNOcam®. Além disso, foram recolhidos os valores de sensibilidade, especificidade e precisão apresentados em cada estudo, assim como o padrão de referência adotado para validar os resultados. Estas informações permitiram uma leitura mais crítica e comparativa dos dados disponíveis na literatura, servindo de base para a análise descritiva e para as conclusões desta revisão sistemática.

2.4. Método de avaliação da qualidade metodológica dos estudos

Para avaliar a qualidade metodológica dos estudos incluídos nesta revisão sistemática, foi utilizada a Escala de Jadad (Jadad et al., 1996), uma ferramenta amplamente reconhecida para a avaliação do risco de viés em ensaios clínicos randomizados.

Uma pontuação de 0-1 é característica de uma investigação com alto risco de viés, uma pontuação de 2-3 corresponde a um estudo com risco moderado de viés e, por fim, uma pontuação de 4-5 destina-se às investigações com baixo risco de viés.

No Anexo A apresentam-se de forma resumida os critérios avaliados segundo esta escala.

3. RESULTADOS

3.1. Diagrama de fluxo PRISMA

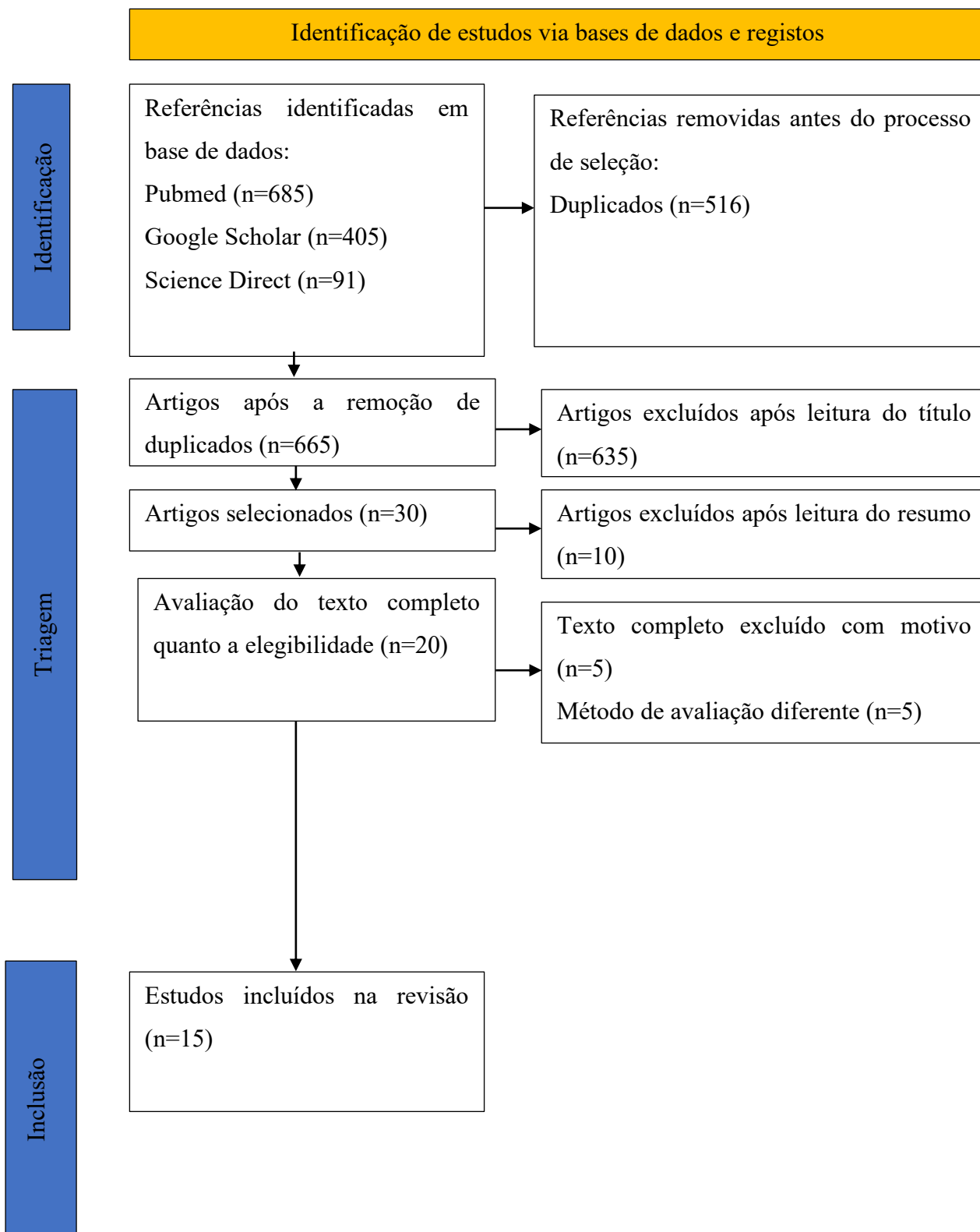
A seleção dos artigos analisados para esta revisão sistemática foi realizada tendo por base os critérios da *checklist* PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (cf. Figura 1).

Com base nos critérios de inclusão e exclusão foram identificados 1181 artigos potencialmente elegíveis. Após a eliminação dos artigos duplicados (n=516), restaram 665 artigos. Foi feita uma seleção das publicações através da leitura do título, tendo sido eliminados 635 artigos. Consequentemente, 30 artigos foram selecionados para a leitura do resumo. Destes 30 artigos, 10 foram eliminados, restando 20 estudos para leitura integral. Após esta etapa, eliminaram-se 5 artigos: um (n=1) estudos foi excluído por ter sido conduzido exclusivamente em dentes decíduos; três (n=3) estudos excluíram-se por se tratar de estudos de tipologia *in vitro*; um (n=1) estudo foi excluído por avaliar exclusivamente lesões localizadas em superfícies vestibulares.

Desta maneira, 15 artigos foram incluídos para realizar esta revisão sistemática de acordo com os critérios de inclusão e exclusão mencionados.

Figura 1

Diagrama de fluxo PRISMA (Preferred reporting items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para revisões sistemáticas.



3.2. Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés

Para avaliar a qualidade metodológica dos estudos incluídos nesta revisão, foi utilizada a escala de Jadad (Jadad et al., 1996). A Tabela 3 apresenta a pontuação obtida por cada estudo incluído, de acordo com o critério avaliado, o nível de viés estimado e a principal limitação metodológica identificada.

A análise dos dados metodológicos revela que a maioria dos estudos apresenta limitações importantes, especialmente relacionadas à ausência de cegamento, falta de randomização e calibração insuficiente entre examinadores.

Apenas um estudo atingiu a pontuação de 5 na escala de Jadad (Ahrari et al. (2021), enquanto a maioria obteve nota 1 (Ozkan & Guzel (2017); Kocak-Topbas et al. (2023); Becker et al. (2024); Park et al. (2023); Nur (2020); Baltacioglu & Orhan (2017); Jost et al. (2024)), indicando alto risco de viés.

Tabela 3

Pontuação metodológica (escala de Jadad (Jadad et al., 1996)), nível de viés e limitações predominantes dos estudos incluídos (continua na próxima página).

Estudo (Autor, Ano)	Randomização	Cegamento	Perdas/Exclusões	Total	Nível de viés	Tipo de viés predominante
Ahrari et al. (2021)	2	2	1	5	Baixo	Nenhum viés metodológico relevante
Baltacioglu & Orhan (2017)	0	-1	1	0	Alto	Cegamento inapropriado e ausência de randomização
Becker et al. (2024)	0	0	1	1	Alto	Sem controle clínico e ausência de cegamento
Dundar et al. (2020)	0	0	1	1	Alto	Ausência de randomização e cegamento
Jost et al. (2024)	0	0	1	1	Alto	Ausência de randomização e cegamento
Kocak-Topbas et al. (2023)	0	0	1	1	Alto	Ausência de randomização e cegamento
Litzenburger et al. (2021)	0	0	1	1	Alto	Ausência de randomização e cegamento
Nur (2020)	0	0	0	0	Alto	Estudo retrospectivo sem cegamento nem validação cruzada

Tabela 3 (Continuação)*Pontuação metodológica (escala de Jadad (Jadad et al., 1996)), nível de viés e limitações predominantes dos estudos incluídos.*

Estudo (Autor, Ano)	Randomização	Cegamento	Perdas/Exclusões	Total	Nível de viés	Tipo de viés predominante
Ozkan & Guzel (2017)	0	0	1	1	Alto	Randomização incompleta e ausência de cegamento
Park et al. (2023)	0	0	0	0	Alto	Estudo observacional com IA, sem controle ou cegamento
Pelliccioni et al. (2023)	0	0	1	1	Alto	Ausência de randomização e cegamento
Stratigaki et al. (2020)	2	0	1	3	Moderado	Falta de cegamento
Tassoker et al. (2020)	0	2	1	3	Moderado	Sem randomização
Yehua et al. (2024)	0	0	1	1	Alto	Falta de randomização e cegamento

IA: Inteligência Artificial.

3.3. Caracterização metodológica dos estudos incluídos

A fim de contextualizar os resultados obtidos, reúne-se na Tabela 4 informações relacionadas com as principais características metodológicas de cada estudo incluído nesta revisão. Para além do tipo de população e de amostra, são destacados os métodos diagnósticos avaliados, os critérios de referência utilizados e o delineamento do estudo.

Os estudos apresentam considerável heterogeneidade quanto ao tamanho da amostra e às combinações metodológicas aplicadas. Enquanto alguns compararam diretamente três métodos diagnósticos (fluorescência, transiluminação e radiografia) (Diniz et al., 2012; Litzenburger et al., 2021; Kocak-Topbas et al., 2023), outros focaram-se na comparação entre apenas dois (Ozkan & Guzel, 2017; Yehua et al., 2024; Dundar et al., 2020; Ahrari et al., 2021) ou avaliaram uma única técnica, mas sempre com base um padrão de referência (Becker et al., 2024; Baltacioglu & Orhan, 2017; Mohamed Nur, 2020).

Alguns estudos também incluíram a fluorescência associada a outros métodos (Pelliccioni et al., 2023; Cengiz-Yanardag et al., 2020; Park et al., 2023) inspeção visual (Stratigaki et al., 2020; Jost et al., 2020) e exames clínicos (Ozkan & Guzel, 2017; Dundar et al., 2020).

Tabela 4*Características metodológicas dos estudos incluídos na revisão sistemática.*

Estudo (Autor, Ano)	Participantes (N)	População	Métodos avaliados	Referência diagnóstica
Ahrari et al. (2021)	15	Adultos	Transiluminação, Radiografia	Validação histológica
Baltacioglu & Orhan (2017)	30	Adultos	Transiluminação	Inspeção clínica
Becker et al. (2024)	90	Cadáveres	Radiografia (com validação in vitro)	Avaliação visual e histológica
Cengiz-Yanardag et al. (2020)	65	Adultos	Fluorescência	Critério clínico
Diniz et al. (2012)	335	Adolescentes	Fluorescência, Transiluminação, Radiografia	Validação histológica
Dündar et al. (2020)	60	Adultos	Fluorescência, Radiografia	Avaliação clínica
Jost et al. (2020)	45	Adultos	Transiluminação, Inspeção visual	ICDAS
Kocak-Topbas et al. (2023)	100	Adultos	Fluorescência, Transiluminação, Radiografia	Micro-CT
Litzenburger et al. (2021)	120	Adultos	Fluorescência, Transiluminação, Radiografia	Validação clínica
Nur (2020)	30	Adultos	Transiluminação, Radiografia	Validação histológica
Ozkan & Guzel (2017)	52	Adultos	Fluorescência, Radiografia	Inspeção clínica
Park et al. (2023)	606	Imagens clínicas	Fluorescência, Inspeção visual, IA	Diagnóstico clínico + IA
Stratigaki et al. (2020)	80	Pacientes	Transiluminação	Inspeção visual
Tassoker et al. (2020)	42	Adultos jovens	Fluorescência	Inspeção visual
Yehua et al. (2024)	40	Dentes extraídos	Fluorescência, Radiografia	Validação histológica

IA: Inteligência Artificial; ICDAS: Sistema Internacional de Detecção e Avaliação de Cáries (do inglês *International Caries Detection and Assessment System*); Micro-CT: Microtomografia de Raios-X.

3.3.1 Sensibilidade dos métodos diagnósticos avaliados

A sensibilidade é um dos principais indicadores de desempenho diagnóstico, refletindo a capacidade de um método em identificar corretamente os casos positivos, neste caso, as lesões de cárie efetivamente presentes. Valores elevados de sensibilidade são particularmente importantes na detecção precoce, quando as lesões ainda se encontram em estágios iniciais e podem ser tratadas de forma minimamente invasiva.

A Tabela 5 apresenta os valores de sensibilidade reportados nos estudos incluídos nesta revisão, organizados por método de diagnóstico.

Tabela 5

Sensibilidade (%) dos métodos diagnósticos avaliados.

Estudo (Autor, Ano)	Fluorescência	Transiluminação	Radiografia digital
Ahrari et al. (2021)	Não reportado	80%	60%
Baltacioglu & Orhan (2017)	Não aplicável	75%	80%
Becker et al. (2024)	Não aplicável	Não aplicável	Não reportado
Cengiz-Yanardag et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não aplicável
Diniz et al. (2012)	84,6%	76,9%	44,4%
Dündar et al. (2020)	Superior à radiografia	Não aplicável	Inferior à fluorescência
Jost et al. (2020)	Não aplicável	68,8%	64,4%
Kocak-Topbas et al. (2023)	89,7%	87,1%	78,2%
Litzenburger et al. (2021)	85%	97%	70%
Nur (2020)	Não aplicável	82%	75%
Ozkan & Guzel (2017)	90,0%	Não aplicável	50,0%
Park et al. (2023)	Não reportado (IA + QLF)	Não aplicável	Não reportado
Stratigaki et al. (2020)	Não aplicável	73,3%	83,3%
Tassoker et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não aplicável
Yehua et al. (2024)	85,7%	Não aplicável	67,3%

QLF: Fluorescência Quantitativa Induzida por Luz (do inglês *Quantitative Light-Induced Fluorescence*); IA: Inteligência Artificial.

A análise comparativa dos valores de sensibilidade revela uma tendência consistente entre os estudos: a fluorescência a laser tende a apresentar os maiores índices de detecção, especialmente em lesões iniciais. Em estudos como os de Ozkan & Guzel (2017), Yehua

et al. (2024) e Kocak-Topbas et al. (2023) a sensibilidade da fluorescência superou 85%, alcançando até 90%, o que confirma seu potencial na identificação precoce da cárie.

Por outro lado, a transiluminação por luz próxima do infravermelho (NILT) demonstrou desempenho igualmente elevado em alguns estudos, como o de Litzenburger et al. (2021), onde atingiu 97%, e de Kocak-Topbas et al. (2023), com 87,1%. No entanto, em investigações como Jost et al. (2020) e Stratigaki et al. (2020), os valores foram mais modestos (em torno de 68 a 73%), sugerindo que sua eficácia pode variar conforme a superfície analisada ou o protocolo utilizado.

Já a radiografia digital, embora amplamente utilizada como método de referência, apresentou os valores de sensibilidade mais baixos na maioria dos estudos. Em Diniz et al. (2012), a sensibilidade deste método diagnóstico foi de apenas 44,4%, sendo superada de forma significativa pelos outros métodos. Mesmo nos estudos com valores mais elevados, como Kocak-Topbas et al. (2023), não ultrapassou os 78,2%.

É importante destacar que nem todos os estudos forneceram valores numéricos claros. Em alguns casos, como Dündar et al. (2020) e Park et al. (2023), os autores relataram a avaliação de desempenho de uma forma qualitativa (“superior à radiografia”), dificultando a comparação direta.

3.3.2 Especificidade dos métodos diagnósticos avaliados

A especificidade é outro parâmetro fundamental na avaliação de métodos diagnósticos, pois indica a capacidade de um teste em identificar corretamente os casos negativos, ou seja, a ausência de lesões.

Valores elevados de especificidade são essenciais para reduzir o número de falsos positivos, evitando intervenções desnecessárias e proporcionando maior segurança clínica. A Tabela 6 apresenta os valores de especificidade reportados nos estudos incluídos nesta revisão, organizados por método avaliado.

Tabela 6

Especificidade (%) dos métodos diagnósticos avaliados.

Estudo (Autor, Ano)	Fluorescência	Transiluminação	Radiografia digital
Ahrari et al. (2021)	Não reportado	89%	96%
Baltacioglu & Orhan (2017)	Não aplicável	Não reportado	Não reportado
Becker et al. (2024)	Não aplicável	Não aplicável	Não reportado
Cengiz-Yanardag et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não aplicável
Diniz et al. (2012)	58,8%	69,1%	89,5%
Dündar et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não reportado
Jost et al. (2020)	Não aplicável	71,1%	77,8%
Kocak-Topbas et al. (2023)	76,4%	84,5%	91,6%
Litzenburger et al. (2021)	78%	67%	100%
Nur (2020)	Não aplicável	87%	90%
Ozkan & Guzel (2017)	69,2%	Não aplicável	84,6%
Park et al. (2023)	Não reportado	Não aplicável	Não reportado
Stratigaki et al. (2020)	Não aplicável	68%	83%
Tassoker et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não aplicável
Yehua et al. (2024)	78,9%	Não aplicável	82,6%

A análise dos valores de especificidade evidencia uma tendência distinta em relação ao comportamento dos métodos avaliados. A radiografia digital, tradicionalmente considerada padrão diagnóstico complementar, demonstrou consistentemente os maiores índices de especificidade entre os três métodos. Estudos como os de Litzenburger et al. (2021), Ahrari et al. (2021) e Kocak-Topbas et al. (2023) reportaram valores acima de

90%, com destaque para o primeiro trabalho mencionado, que atingiu 100% de especificidade na detecção de lesões oclusais. Estes dados reforçam o papel da radiografia na redução de falsos positivos, sobretudo em lesões mais profundas.

Por outro lado, a fluorescência a laser, embora muito sensível à detecção de lesões iniciais, apresentou especificidade mais modesta, geralmente abaixo de 80%. Em Diniz et al. (2012), o valor foi de apenas 58,8%, o que sugere uma tendência à detecção de alterações que não requerem intervenção clínica. Mesmo nos estudos com resultados mais favoráveis, como os de Yehua et al. (2024) e Kocak-Topbas et al. (2023), os valores ficaram em 78,9% e 76,4%, respectivamente, abaixo dos índices alcançados pela radiografia nos mesmos estudos.

A NILT mostrou desempenho mais variável. Em alguns estudos, como Ahrari et al. (2021) e Nur (2020), os índices de especificidade foram elevados (89% e 87%, respectivamente), próximos ou até superiores aos da radiografia. Já em outros, como Stratigaki et al. (2020) e Jost et al. (2020), os valores ficaram mais baixos (68% e 71,1%, respectivamente), o que evidencia uma oscilação dependente do protocolo clínico e da superfície analisada.

Alguns estudos, como os de Tassoker et al. (2020), Cengiz-Yanardag et al. (2020), Park et al. (2023) e Becker et al. (2024), não reportaram valores de especificidade, dificultando a comparação direta. Em outros, como Dündar et al. (2020) e Baltacioglu & Orhan (2017), a ausência de validação objetiva também comprometeu a medição confiável deste parâmetro.

3.3.3 Precisão dos métodos diagnósticos avaliados

A precisão representa a proporção de diagnósticos corretos, considerando tanto os verdadeiros positivos quanto os verdadeiros negativos. É um indicador global do desempenho do método, refletindo sua capacidade de identificar corretamente a presença ou ausência de lesões. A Tabela 7 a seguir apresenta os valores de precisão diagnóstica reportados nos estudos incluídos nesta revisão, organizados por técnica, quando esses dados estavam disponíveis.

Tabela 7

Precisão (%) diagnóstica dos métodos avaliados.

Estudo (Autor, Ano)	Fluorescência	Transiluminação	Radiografia digital
Ahrari et al. (2021)	Não reportado	84%	83%
Baltacioglu & Orhan (2017)	Não aplicável	Não reportado	Não reportado
Becker et al. (2024)	Não aplicável	Não aplicável	Não reportado
Cengiz-Yanardag et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não aplicável
Diniz et al. (2012)	73%	73%	66%
DüNDAR et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não reportado
Jost et al. (2020)	Não aplicável	73%	71%
Kocak-Topbas et al. (2023)	84,1%	85,8%	85%
Litzenburger et al. (2021)	82%	82%	82%
Nur (2020)	Não aplicável	80%	78%
Ozkan & Guzel (2017)	Não reportado	Não aplicável	Não reportado
Park et al. (2023)	Não reportado	Não aplicável	Não reportado
Stratigaki et al. (2020)	Não aplicável	70,3%	76%
Tassoker et al. (2020)	Não reportado	Não aplicável	Não aplicável
Yehua et al. (2024)	81,3%	Não aplicável	75%

Ao analisar os dados extraídos dos estudos incluídos, observa-se uma distribuição relativamente equilibrada entre os três métodos da precisão diagnóstico relatada, embora com nuances importantes.

Os valores mais elevados de precisão foram registrados nos estudos de Kocak-Topbas et al. (2023), onde todos os três métodos fluorescência (84,1%), transiluminação (85,8%) e radiografia digital (85%) apresentaram desempenho semelhante e elevado. Este padrão repetiu-se em Litzenburger et al. (2021), com precisão de 82% para todos os métodos, indicando que, em contextos bem controlados, as três abordagens podem apresentar eficácia diagnóstica comparável.

A transiluminação por luz próxima do infravermelho (NILT) demonstrou precisão consistentemente elevada nos estudos onde foi avaliada. Em Ahrari et al. (2021) e Nur (2020), por exemplo, os valores atingiram 84% e 80%, respectivamente, ficando próximos ou até acima dos valores da radiografia digital. No entanto, em contextos clínicos menos padronizados, como em Stratigaki et al. (2020), a precisão da transiluminação foi menor (70,3%), indicando possível sensibilidade a fatores operacionais.

A fluorescência a laser, embora muito sensível, apresentou precisão variada. Em Diniz et al. (2012), o valor foi de 73%, inferior ao da radiografia digital (66%) e da transiluminação (também 73%). Já em Yehua et al. (2024), a fluorescência alcançou 81,3%, superando a radiografia (75%). Estes resultados sugerem que a precisão da fluorescência pode ser influenciada pelo tipo de superfície avaliada ou pela calibração do operador.

A radiografia digital, por sua vez, mostrou precisão estável e geralmente elevada, com valores variando entre 66% e 85%. Becker et al. (2024) não reportaram valores para esse parâmetro, limitando a comparação.

Diversos estudos, como os de Tassoker et al. (2020), Cengiz-Yanardag et al. (2020), Park et al. (2023) e Dündar et al. (2020), não reportaram valores numéricos de precisão, restringindo a análise abrangente do conjunto.

4. DISCUSSÃO

Os resultados desta revisão sistemática indicam que os métodos baseados em fluorescência e transiluminação por luz infravermelha apresentam, de forma geral, um desempenho superior ao da radiografia digital na detecção precoce de lesões de cárie não cavitadas, como demonstrado por Diniz et al. (2012), Litzenburger et al. (2021) e Becker et al. (2024). Em particular, observou-se que a fluorescência demonstrou uma elevada sensibilidade na identificação de lesões incipientes, especialmente em superfícies oclusais, embora com alguma variabilidade na especificidade, conforme relatado por Diniz et al. (2012) e Kocak-Topbas et al. (2023).

A transiluminação, por sua vez, mostrou-se eficaz na detecção de lesões interproximais, apresentando uma precisão global equilibrada e bons níveis tanto de sensibilidade quanto de especificidade, como evidenciado por Litzenburger et al. (2021) e Becker et al. (2024). Por outro lado, a radiografia digital, embora amplamente utilizada na prática clínica, revelou menor sensibilidade diagnóstica nos estágios iniciais da doença (Diniz et al., 2012; Kocak-Topbas et al., 2023), mantendo, contudo, uma elevada especificidade.

Com base nestes achados, pode-se afirmar que a fluorescência e a transiluminação apresentam um desempenho superior ao da radiografia digital quando aplicada isoladamente na identificação precoce de cáries dentárias não cavitadas. Além disso, os três métodos podem ser considerados complementares, na medida em que suas características diagnósticas distintas (elevada sensibilidade, boa precisão e alta especificidade) permitem uma abordagem mais abrangente e eficaz, como sugerido por Diniz et al. (2012), Litzenburger et al. (2021) e Becker et al. (2024), respondendo positivamente à pergunta de investigação proposta.

4.1 Fluorescência

A fluorescência demonstrou, de forma consistente entre os estudos analisados, elevada sensibilidade na detecção de lesões de cárie não cavitadas, especialmente em superfícies oclusais. Essa performance pode ser atribuída à sua capacidade de identificar alterações precoces na estrutura mineral do esmalte, que ainda não são detetáveis por métodos radiográficos convencionais.

Estudos como os de Diniz et al. (2012) e Kocak-Topbas et al. (2023) reforçam essa tendência, relatando níveis elevados de sensibilidade na identificação de lesões incipientes com o uso de dispositivos de fluorescência, como o DIAGNOdent®.

Diniz et al. (2012) observaram que o DIAGNOdent® apresentou sensibilidade superior à da radiografia digital na identificação de lesões oclusais incipientes, embora com especificidade mais baixa. Resultados semelhantes foram relatados por Kocak-Topbas et al. (2023), que também destacaram a eficácia do método na detecção de lesões não visíveis clinicamente.

No entanto, apesar da elevada sensibilidade, vários estudos apontaram uma menor especificidade associada à fluorescência, o que pode resultar em falsos positivos. Essa limitação está frequentemente relacionada à interferência de fatores externos, como a presença de biofilme, manchas extrínsecas ou fissuras pigmentadas, que podem simular fluorescência semelhante à das lesões cariosas. Tanto Diniz et al. (2012) como Kocak-Topbas et al. (2023) alertam para esse risco, recomendando que os valores obtidos sejam interpretados com cautela e sempre integrados ao exame clínico e a outros métodos diagnósticos.

Em termos de precisão global, os resultados variaram conforme o dispositivo utilizado e o desenho metodológico dos estudos. Kocak-Topbas et al. (2023) relataram bons níveis de precisão quando a fluorescência foi aplicada em conjunto com a inspeção visual e validação clínica, enquanto Diniz et al. (2012) observaram dificuldades na distinção entre lesões ativas e inativas, limitando o valor da fluorescência como indicador isolado no momento de tomar uma decisão clínica. Esses dados reforçam a ideia de que a fluorescência deve ser considerada uma ferramenta auxiliar, cuja maior utilidade reside na sua integração com outros métodos, em consonância com os princípios da Medicina Dentária minimamente invasiva.

4.2 Transiluminação

A transiluminação por luz próxima do infravermelho (NIR-TI) revelou-se um método eficaz na detecção precoce de lesões de cárie não cavitadas, sobretudo em superfícies interproximais, onde métodos tradicionais como a inspeção visual ou a radiografia digital tendem a apresentar menor desempenho. Esta tecnologia baseia-se na diferença de transmissão da luz entre o tecido dentário saudável e as áreas desmineralizadas, criando zonas de sombra que indicam a presença de lesões cariosas. Litzemberger et al. (2021)

evidenciaram que a transiluminação, quando utilizada em conjunto com a inspeção visual, apresentou melhores índices de sensibilidade e precisão do que a radiografia digital isolada na detecção de lesões interproximais incipientes. A sua aplicabilidade clínica foi também confirmada por Becker et al. (2024), que validaram a eficácia do método por meio de um padrão de referência composto, obtendo bons resultados tanto em termos de sensibilidade como de especificidade, especialmente em lesões em estágio inicial.

Além disso, Dundar et al. (2020) demonstraram que o NIR-TI permitiu uma detecção mais rápida e com desempenho comparável ao da radiografia digital, oferecendo ainda a vantagem de não expor os pacientes à radiação ionizante. Esses resultados reforçam o potencial da transiluminação como ferramenta complementar em exames clínicos, sobretudo em contextos que requerem monitorização frequente ou em populações pediátricas.

Apesar dos benefícios, algumas limitações foram observadas. Becker et al. (2024) destacaram que a presença de restaurações ou a morfologia dentária complexa pode interferir na interpretação das imagens obtidas por transiluminação, exigindo maior experiência por parte do examinador. A variabilidade entre operadores também foi referida como um fator que pode influenciar os resultados. No entanto, os estudos incluídos nesta revisão apontam que a transiluminação próxima do infravermelho representa uma alternativa promissora e segura à radiografia digital na detecção de lesões interproximais não cavitadas.

Litzenburger et al. (2021) reforçam essa conclusão ao demonstrar que o NIR-TI apresenta sensibilidade e especificidade comparáveis ou superiores às da radiografia digital, com a vantagem adicional de não emitir radiação, oferecendo maior conforto ao paciente e facilitando a sua utilização repetida em ambiente clínico. Assim, o método alinha-se com os princípios da Medicina Dentária minimamente invasiva, promovendo diagnósticos mais precoces e conservadores.

4.3 Radiografia digital

A radiografia digital é amplamente utilizada na prática clínica devido à sua acessibilidade, facilidade de execução e capacidade de documentação das lesões dentárias. No entanto, os estudos incluídos nesta revisão sistemática revelaram limitações consideráveis desse

método na detecção precoce de lesões de cárie não cavitadas, especialmente em superfícies oclusais e interproximais.

Diniz et al. (2012) relataram que a radiografia digital apresentou sensibilidade inferior em comparação com a fluorescência a laser na identificação de lesões oclusais incipientes, o que pode ser atribuído à sua limitação em visualizar alterações de densidade mineral ainda discretas. Essa tendência foi igualmente observada por Litzenburger et al. (2021), que constataram uma menor performance da radiografia digital isolada na detecção de lesões interproximais em esmalte, sobretudo quando comparada com métodos óticos como a transiluminação.

Apesar dessa baixa sensibilidade em estágios iniciais, a radiografia digital demonstrou, em diversos estudos, um desempenho mais elevado no parâmetro de especificidade. Kocak-Topbas et al. (2023) evidenciaram que esse método tende a produzir menos falsos positivos, sendo mais eficaz na confirmação da presença de lesões verdadeiras, principalmente quando a desmineralização já atingiu a dentina. Essa característica torna a radiografia digital particularmente útil como ferramenta de confirmação diagnóstica em contextos clínicos mais avançados.

Outro ponto favorável é a familiaridade dos profissionais com essa técnica e a sua integração rotineira na prática clínica. Becker et al. (2024) destacaram que, apesar da sensibilidade inferior, a radiografia continua a ser uma referência na avaliação das lesões dentárias, especialmente quando associada a outros métodos. Sua capacidade de registrar imagens de múltiplas superfícies ao mesmo tempo e de arquivá-las para comparação longitudinal representa uma vantagem prática significativa. Além disso, estudos como o de Kocak-Topbas et al. (2023) reforçam que a radiografia digital apresenta especificidade elevada na detecção de lesões em dentina, sendo útil como método de confirmação quando existe suspeita clínica de progressão da lesão.

No entanto, deve-se considerar que a utilização da radiografia implica exposição do paciente à radiação ionizante, ainda que em baixos níveis, o que pode limitar sua repetição frequente, sobretudo em populações vulneráveis como crianças ou pacientes com necessidades especiais. Diniz et al. (2012) observaram que, mesmo com baixa dose de radiação, a sua frequência deve ser ponderada clinicamente, destacando a importância de integrar métodos não invasivos ao protocolo diagnóstico. Além disso, a interpretação radiográfica está sujeita à subjetividade do avaliador e pode ser influenciada por fatores técnicos como o ângulo de incidência e a sobreposição de estruturas, como mencionado

por Litzenburger et al. (2021), que ressaltaram a vantagem de associar a radiografia com métodos óticos para compensar essas limitações.

4.4 Abordagem combinada de várias técnicas de imagem

A análise comparativa entre os métodos avaliados nesta revisão sistemática indica que nenhuma das tecnologias oferece, isoladamente, desempenho ideal em todas as situações clínicas. No entanto, a associação entre diferentes métodos diagnósticos demonstrou ser uma estratégia eficaz para maximizar a detecção precoce de lesões de cárie não cavitadas, ao equilibrar sensibilidade e especificidade.

A fluorescência apresentou elevada sensibilidade, especialmente na detecção de lesões em superfícies oclusais, como observado em Diniz et al. (2012) e Kocak-Topbas et al. (2023). A transiluminação, por sua vez, demonstrou-se eficaz na identificação de lesões interproximais, com vantagens adicionais como a ausência de radiação e boa aceitação por parte dos pacientes, como evidenciado em Litzenburger et al. (2021) e Becker et al. (2024). Já a radiografia digital manteve uma elevada especificidade, sendo eficaz como ferramenta de confirmação diagnóstica, sobretudo em lesões que atingem dentina, como relatado por Kocak-Topbas et al. (2023) e Becker et al. (2024).

Estudos como os de Diniz et al. (2012) e Litzenburger et al. (2021) reforçam que a combinação entre inspeção visual, radiografia digital e métodos óticos como a fluorescência ou a transiluminação resulta em maior precisão diagnóstica. Esta abordagem permite ao clínico detectar lesões incipientes com maior segurança e reduzir tanto falsos positivos como falsos negativos, otimizando a tomada de decisão.

A integração de diferentes tecnologias diagnósticas também se alinha com os princípios da Medicina Dentária minimamente invasiva, ao permitir intervenções mais precoces, conservadoras e adaptadas à severidade da lesão. Becker et al. (2024) destacam que o uso combinado de métodos como inspeção visual, transiluminação e radiografia, não apenas melhora a precisão diagnóstica, mas também facilita o acompanhamento longitudinal das lesões ao longo do tempo, permitindo uma avaliação mais confiável da sua progressão ou estabilidade clínica. Essa abordagem combinada contribui, portanto, para uma melhor decisão clínica nos casos que requerem um tratamento não invasivo, reforçando a importância do diagnóstico precoce e individualizado.

4.5 Limitações da presente revisão

Apesar da importância dos resultados apresentados nesta revisão sistemática, é fundamental reconhecer algumas limitações que podem ter influenciado os achados.

A primeira diz respeito à heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos. As pesquisas analisadas variaram bastante quanto às populações estudadas, superfícies dentárias avaliadas (oclusal ou interproximal), critérios de inclusão e protocolos clínicos adotados. Essa falta de uniformização dificultou a padronização dos dados e comprometeu a comparação direta entre os métodos.

Outro ponto relevante foi a diversidade dos padrões de referência utilizados para validar os métodos diagnósticos. Alguns estudos usaram a radiografia digital como padrão, outros basearam-se na inspeção visual ou em na combinação de métodos. Essa variação pode ter introduzido viés de verificação, dificultando a avaliação precisa da sensibilidade e especificidade. Becker et al. (2024) salientaram esse aspeto, mencionando que a seleção do padrão de comparação influencia diretamente a confiabilidade dos dados obtidos.

Além disso, a qualidade metodológica dos estudos nem sempre foi ideal. Em vários casos, observou-se a ausência de randomização e de cegamento dos avaliadores, o que aumenta o risco de viés e pode comprometer a validade dos resultados. Kocak-Topbas et al. (2023) reconheceram esse problema e ressaltaram a importância de estudos mais rigorosos nesse sentido.

Também é importante considerar que os métodos baseados em luz, como a fluorescência e a transiluminação, dependem muito da experiência do operador e das condições clínicas no momento da avaliação. Fatores como presença de restaurações, morfologia dentária complexa, iluminação inadequada ou até o cansaço do examinador podem afetar negativamente o desempenho dos métodos, como apontado por Becker et al. (2024) e Dundar et al. (2020).

Por fim, vale destacar que todos os estudos analisados foram realizados em contexto clínico real (*in vivo*). Embora isso torne os resultados mais aplicáveis à prática clínica diária, também introduz uma variabilidade maior, difícil de controlar. Além disso, nenhum dos artigos analisados avaliou o impacto clínico direto do uso desses métodos no momento de tomar uma decisão clínica ou no desfecho a longo prazo, o que representa uma lacuna relevante a ser explorada em futuras investigações.

4.6 Perspetivas para investigações futuras

Com base nas limitações identificadas nesta revisão, torna-se evidente a necessidade de desenvolver estudos mais robustos e padronizados que explorem, com maior profundidade, o desempenho dos métodos de diagnóstico de cárie dentária não cavitada.

Em primeiro lugar, é essencial que futuros ensaios clínicos sejam conduzidos com randomização adequada, cegamento dos avaliadores e amostras mais representativas da população geral. Essas medidas metodológicas aumentam a validade interna dos estudos e reduzem o risco de viés, permitindo comparações mais confiáveis entre os diferentes métodos diagnósticos.

Além disso, recomenda-se a adoção de padrões de referência consistentes e validados, como o uso de métodos diagnósticos combinados que integrem mais de um critério diagnóstico (exame visual, imagem radiográfica e métodos óticos), como foi feito por Becker et al. (2024). Esse aspeto contribui para avaliações mais equilibradas da sensibilidade e especificidade de cada técnica.

Outra diretriz futura importante diz respeito à necessidade de avaliar o impacto clínico real dos métodos de diagnóstico. Poucos estudos se dedicaram a investigar como o uso de determinadas tecnologias influencia a toma de decisões clínicas, o tipo de intervenção realizada ou os desfechos clínicos a longo prazo. Investigações futuras devem contemplar não apenas a precisão dos métodos, mas também sua relevância prática no contexto da Medicina Dentária minimamente invasiva.

Por fim, a integração de tecnologias recentes, como a inteligência artificial (IA) e scanners intraorais, representa uma oportunidade promissora para refinar ainda mais o diagnóstico precoce. Sistemas de apoio à decisão baseados em IA, quando combinados a métodos como a fluorescência ou a transiluminação, poderão futuramente melhorar a precisão diagnóstica e a uniformidade entre examinadores, especialmente em contextos com menos experiência clínica.

Em suma, estudos futuros deverão priorizar metodologias padronizadas, validações consistentes e análises que ultrapassem a mera detecção de lesões, incorporando o impacto real das ferramentas diagnósticas na saúde oral dos pacientes.

5. CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática permitiu concluir que, embora nenhum método de diagnóstico se revele completamente eficaz de forma isolada, a fluorescência e a transiluminação por luz próxima do infravermelho apresentam vantagens claras face à radiografia digital na detecção precoce de lesões de cárie não cavitadas. A fluorescência destacou-se pela sua elevada sensibilidade, sobretudo em superfícies oclusais, enquanto a transiluminação mostrou-se particularmente eficaz em áreas interproximais, combinando boa sensibilidade com especificidade. A radiografia digital, por sua vez, manteve o seu valor como método confirmatório, graças à sua elevada especificidade.

A análise dos estudos incluídos reforça a importância de uma abordagem combinada, que tire partido das qualidades de cada técnica, promovendo um diagnóstico mais preciso, precoce e alinhado com os princípios da medicina dentária minimamente invasiva.

Para investigações futuras, será essencial garantir maior padronização metodológica, com ensaios clínicos bem desenhados, uso consistente de padrões de referência e avaliação do impacto clínico real destas tecnologias na prática diária. A integração de ferramentas como inteligência artificial pode representar um avanço promissor, tanto na melhoria da precisão diagnóstica como na redução da variabilidade entre profissionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrari, F., Akbari, M., Mohammadi, M., Fallahrastegar, A., & Najafi, M. N. (2021). The validity of laser fluorescence (LF) and near-infrared reflection (NIRR) in detecting early proximal cavities. *Clinical Oral Investigations*, 25(8), 4817–4824. <https://www.doi.org/10.1007/s00784-020-03709-z>
- Baltacioglu, I. H., & Orhan, K. (2017). Comparison of diagnostic methods for early interproximal caries detection with near-infrared light transillumination: An in vivo study. *BMC Oral Health*, 17, Article 130. <https://www.doi.org/10.1186/s12903-017-0421-2>
- Becker, K., Ehrlich, H., Hüfner, M., Rauch, N., Busch, C., Schwarz-Herzke, B., Drescher, D., & Becker, J. (2024). Eligibility of a novel BW+ technology and comparison of sensitivity and specificity of different imaging methods for radiological caries detection. *Clinical Oral Investigations*, 40(3), 424–435. <https://www.doi.org/10.1007/s11282-024-00748-4>
- Caceda, J. H., Jiang, S., Calderon, V., & Villavicencio-Caparo, E. (2023). Sensitivity and specificity of the ICDAS II system and bitewing radiographs for detecting occlusal caries using the Spectra™ caries detection system as the reference test in children. *BMC Oral Health*, 23, Article 896. <https://www.doi.org/10.1186/s12903-023-03615-6>
- Diniz, M. B., Boldieri, T., Rodrigues, J. A., Santos-Pinto, L., Lussi, A., & Cordeiro, R. C. L. (2012). The performance of conventional and fluorescence-based methods for occlusal caries detection: An in vivo study with histologic validation. *Journal of the American Dental Association*, 143(4), 339–350. <https://www.doi.org/10.14219/jada.archive.2012.0176>
- Dündar, N., Gündüz, E., Özkan, G., Yılmaz, T., & Altunsoy, M. (2020). Clinical performance of near infrared light transillumination and other diagnostic methods for proximal caries detection. *Clinical and Experimental Dental Research*, 6(6), 633–640. <https://www.doi.org/10.1002/cre2.309>
- Elsawaf, A. E., Al Deri, A. Y., Armanious, P. S., Khasawneh, A. M., AlKhaja, A. M., Yasin, A. R., Al-Rawi, N. H., Al Kawas, S., & Shetty, S. R. (2024). Efficiency of near-infrared technology in the clinical detection of carious lesions: A systematic review. *European Journal of Dentistry*, 18(1), 14–25. <https://www.doi.org/10.1055/s-0043-1761187>
- Featherstone, J. D. B. (2004). The continuum of dental caries—evidence for a dynamic disease process. *Journal of Dental Research*, 83(Spec No C), C39–C42. <https://www.doi.org/10.1177/154405910408301s08>
- Jadad, A. R., Moore, R. A., Carroll, D., Jenkinson, C., Reynolds, D. J., Gavaghan, D. J., & McQuay, H. J. (1996). Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: Is blinding necessary? *Controlled Clinical Trials*, 17(1), 1–12. [https://www.doi.org/10.1016/0197-2456\(95\)00134-4](https://www.doi.org/10.1016/0197-2456(95)00134-4)

- Kassebaum, N. J., Smith, A. G. C., Bernabé, E., Fleming, T. D., Reynolds, A. E., Vos, T., ... & Marcenes, W. (2015). Global, regional, and national prevalence, incidence, and disability-adjusted life years for oral conditions for 195 countries, 1990–2015: A systematic analysis for the Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors. *Journal of Dental Research*, 96(4), 380–387. <https://www.doi.org/10.1177/0022034517693566>
- Kocak, N., & Cengiz-Yanardag, E. (2020). Clinical performance of clinical-visual examination, digital bitewing radiography, laser fluorescence, and near-infrared light transillumination for detection of non-cavitated proximal enamel and dentin caries. *Lasers in Medical Science*, 35(7), 1621–1628. <https://www.doi.org/10.1007/s10103-019-02932-6>
- Kocak-Topbas, N., Kamburoğlu, K., Ertürk-Avunduk, A. T., Ozemre, M. O., Eratam, N., & Çakmak, E. E. (2023). Clinical performance of diagnostic methods in third molar teeth with early occlusal caries. *Diagnostics*, 13(2), 284. <https://www.doi.org/10.3390/diagnostics13020284>
- Kühnisch, J., Söchtig, F., Pitchika, V., Laubender, R., Neuhaus, K. W., Lussi, A., & Hickel, R. (2016). In vivo validation of near-infrared light transillumination for interproximal dentin caries detection. *Clinical Oral Investigations*, 20(4), 821–829. <https://www.doi.org/10.1007/s00784-015-1591-4>
- Litzenburger, F., Schäfer, G., Hickel, R., Kühnisch, J., & Heck, K. (2021). Comparison of novel and established caries diagnostic methods: A clinical study on occlusal surfaces. *BMC Oral Health*, 21, Article 97. <https://www.doi.org/10.1186/s12903-021-01465-8>
- Nur, M., & Mohamed, M. I. (2020). *Transillumination proche de l'infrarouge pour le dépistage et le suivi des caries occlusales: Une étude clinique rétrospective*. Archive ouverte UNIGE. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:143920>
- Ozkan, G., & Guzel, K. G. U. (2017). Clinical evaluation of near-infrared light transillumination in approximal dentin caries detection. *Lasers in Medical Science*, 32, 1417–1422. <https://www.doi.org/10.1007/s10103-017-2265-z>
- Park, E. Y., Jeong, S., Kang, S., Cho, J., Cho, J. Y., & Kim, E. K. (2023). Tooth caries classification with quantitative light-induced fluorescence (QLF) images using convolutional neural network for permanent teeth in vivo. *BMC Oral Health*, 23(1), Article 3669. <https://www.doi.org/10.1186/s12903-023-03669-6>
- Pelliccioni, G. A., Gatto, M. R. A., Bolognesi, S., Dal Fiume, D., Sebold, M., & Breschi, L. (2021). Clinical analysis of the diagnostic accuracy and time of execution of a transillumination caries detection method compared to bitewing radiographs. *Journal of Clinical Medicine*, 10(20), 4780. <https://www.doi.org/10.3390/jcm10204780>
- Peres, M. A., Macpherson, L. M. D., Weyant, R. J., Daly, B., Venturelli, R., Mathur, M. R., ... & Watt, R. G. (2019). Oral diseases: A global public health challenge. *The Lancet*, 394(10194), 249–260. [https://www.doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31146-8](https://www.doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31146-8)
- Pitts, N. B., & Ekstrand, K. R. (2013). International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) and its role in caries management. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 41(1), e41–e52. <https://www.doi.org/10.1111/cdoe.12025>

- Pitts, N. B., Zero, D. T., Marsh, P. D., Ekstrand, K., Weintraub, J. A., Ramos-Gomez, F., ... & Ismail, A. (2017). Dental caries. *Nature Reviews Disease Primers*, 3, 17030. <https://www.doi.org/10.1038/nrdp.2017.30>
- Serban, C., Lungeanu, D., Bota, S. D., Cotca, C. C., Negrutiu, M. L., Duma, V. F., Sinescu, C., & Craciunescu, E. L. (2022). Emerging technologies for dentin caries detection: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(3), 674. <https://www.doi.org/10.3390/jcm11030674>
- Stratigaki, E., Jost, F. N., Kühnisch, J., Litzenburger, F., & Hickel, R. (2020). Clinical validation of near-infrared light transillumination for early proximal caries detection using a composite reference standard. *Journal of Dentistry*, 100013. <https://www.doi.org/10.1016/j.jjodo.2020.100013>
- Tassoker, M., Ozcan, S., & Karabekiroglu, S. (2020). Current diagnostic tools for non-cavitated occlusal caries are not very reliable. *Medical Principles and Practice*, 29(1), 25–31. <https://www.doi.org/10.1159/000501257>
- Turska-Szybka, A., Pierzynowska, E., & Mielczarek, A. (2023). White spot lesions: Diagnosis and treatment – a systematic review. *BMC Oral Health*, 23, Article 720. <https://www.doi.org/10.1186/s12903-023-03720-6>
- World Health Organization. (2022). *Global oral health status report: Towards universal health coverage for oral health by 2030*. Geneva: WHO.
- Yehua, D., Yiyuan, Y., Yihao, L., Jianjun, Z., & Shanshan, L. (2024). Evaluation of DIAGNOdent® pen for initial occlusal caries diagnosis in permanent teeth. *BMC Oral Health*. <https://www.doi.org/10.1186/s12903-024-04889-0>

ANEXOS

Esta escala considera três critérios principais: (1) a randomização do estudo, (2) o uso do cegamento duplo e (3) a descrição de perdas e exclusões, atribuindo uma pontuação total que varia de 0 a 5 pontos.

Anexo A. Critérios de avaliação da qualidade metodológica segundo a escala de Jadad

Critério avaliado	Questão (Jadad)	Pontuação
Randomização	O estudo é descrito como randomizado?	+1 se sim
	A metodologia de randomização é apropriada e descrita?	+1 se apropriada–1 se inapropriada
Cegamento	O estudo é descrito como duplo-cego?	+1 se sim
	A metodologia de cegamento é apropriada e descrita?	+1 se apropriada–1 se inapropriada
Descrição de perdas e exclusões	Há descrição e justificativa de perdas/exclusões de participantes?	+1 se sim
Total possível (com penalizações)		0 a 5 pontos (pode haver subtração de até 2 pontos)