


INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA IMPLANTODONTIA: APLICAÇÕES CLÍNICAS E DESAFIOS ÉTICOS NA PRÁTICA ODONTOLÓGICA DIGITAL

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN IMPLANT DENTISTRY: CLINICAL APPLICATIONS AND ETHICAL CHALLENGES IN DIGITAL DENTAL PRACTICE

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN IMPLANTOLOGÍA DENTAL: APLICACIONES CLÍNICAS Y DESAFÍOS ÉTICOS EN LA PRÁCTICA DENTAL DIGITAL

 <https://doi.org/10.56238/arev7n8-308>

Data de submissão: 15/07/2025

Data de publicação: 15/08/2025

Cicero Deusdedit Aires Gondim

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica nacional sobre a aplicação da inteligência artificial na implantodontia, com o objetivo de mapear contribuições técnicas ao planejamento e à execução de implantes, identificar evidências sobre predição de falhas e monitoramento pós-operatório e examinar os desafios éticos e regulatórios associados ao uso de fluxos digitais em prática clínica, a revisão integrou buscas em bases e repositórios nacionais, seleção crítica das publicações pertinentes e síntese temática dos achados, os resultados indicam ganhos relevantes em acurácia diagnóstica, segmentação automática de estruturas e suporte a fluxos CAD/CAM, benefícios esses que potencializam a previsibilidade cirúrgica e a eficiência protética, contudo emergem limitações metodológicas recorrentes, entre as quais a baixa taxa de validação externa, a heterogeneidade de desfechos e a carência de bancos de imagem representativos, implicações éticas ligadas à privacidade, ao consentimento informado, à explicabilidade algorítmica e à responsabilidade jurídica demandam diretrizes de governança de dados, certificação de softwares e capacitação profissional, recomenda-se priorizar estudos multicêntricos com validação prospectiva, políticas públicas para ampliar acesso tecnológico e programas de formação que integrem conhecimentos técnicos e princípios éticos, medidas essas que são essenciais para converter promessas tecnológicas em benefícios sustentáveis para pacientes e serviços odontológicos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Implantodontia. Odontologia Digital. Ética. Planejamento Cirúrgico.

ABSTRACT

This study provides a national bibliographic review on the application of artificial intelligence in implant dentistry, aiming to map technical contributions to implant planning and execution, identify evidence regarding failure prediction and postoperative monitoring, and examine ethical and regulatory challenges associated with digital workflows in clinical practice, the review combined searches across national databases and repositories, critical selection of relevant publications and thematic synthesis of findings, results show meaningful improvements in diagnostic accuracy, automatic segmentation and CAD/CAM workflow support, advantages that enhance surgical predictability and prosthetic efficiency, however recurring methodological limitations were identified, including low rates of external validation, outcome heterogeneity and a lack of representative image repositories, ethical implications related to privacy, informed consent, algorithmic explainability and legal responsibility call for data governance, software certification and professional training, we

recommend prioritizing multicenter studies with prospective validation, public policies to broaden technological access and educational programs that integrate technical skills and ethical principles, these measures are essential to translate technological promise into sustainable benefits for patients and dental services.

Keywords: Artificial Intelligence. Implant Dentistry. Digital Dentistry. Ethics. Surgical Planning.

RESUMEN

Este trabajo presenta una revisión bibliográfica nacional sobre la aplicación de la inteligencia artificial en implantología dental, con el objetivo de identificar las contribuciones técnicas a la planificación y ejecución de implantes, detectar evidencia sobre la predicción de fallos y el seguimiento postoperatorio, y examinar los desafíos éticos y regulatorios asociados al uso de flujos de trabajo digitales en la práctica clínica. La revisión integró búsquedas en bases de datos y repositorios nacionales, una selección crítica de publicaciones relevantes y una síntesis temática de los hallazgos. Los resultados indican mejoras significativas en la precisión diagnóstica, la segmentación automática de estructuras y el soporte para flujos de trabajo CAD/CAM, beneficios que incrementan la predictibilidad quirúrgica y la eficiencia protésica. Sin embargo, se observan limitaciones metodológicas recurrentes, como la baja tasa de validación externa, la heterogeneidad de los resultados y la falta de bancos de imágenes representativos. Las implicaciones éticas relacionadas con la privacidad, el consentimiento informado, la explicabilidad algorítmica y la responsabilidad legal exigen directrices de gobernanza de datos, certificación de software y formación profesional. Se recomienda priorizar los estudios multicéntricos con validación prospectiva y las políticas públicas para ampliar el acceso a la tecnología, así como los programas de formación que integren conocimientos técnicos y principios éticos, medidas esenciales para convertir las promesas tecnológicas en beneficios sostenibles para los pacientes y los servicios odontológicos.

Palabras clave: Inteligencia Artificial. Implantología. Odontología Digital. Ética. Planificación Quirúrgica.

1 INTRODUÇÃO

A odontologia contemporânea tem experimentado uma transformação impulsionada pela integração de sistemas digitais e de inteligência artificial, mudanças que redefinem procedimentos diagnósticos e terapêuticos na implantodontia, levando a um redesenho do fluxo clínico que incorpora imagens tridimensionais, algoritmos de aprendizagem e protocolos assistidos por computador, fatores esses que aumentam a previsibilidade do planejamento e da execução cirúrgica e elevam as demandas por capacitação técnica e por regulação no âmbito profissional (Silva *et al.*, 2025).

As ferramentas baseadas em *machine learning* e *deep learning* têm demonstrado capacidade de processar volumes extensos de exames radiográficos e tomográficos, extraindo padrões que subsidiam a identificação de anatomias críticas, a previsão de complicações e a otimização da posição e angulação de implantes, ganhos que melhoram a precisão do ato cirúrgico e a comunicação com o paciente, sem, contudo, reduzir a necessidade do juízo clínico do cirurgião-dentista (Neves Neto *et al.*, 2025).

No contexto específico da cirurgia guiada por computador, a integração de modelos preditivos e de simulações virtuais tem permitido a realização de ensaios prévios em ambientes digitais, antecipando riscos e possibilitando ajustes prévios ao procedimento real, essa capacidade de simulação tem implicações diretas na redução do tempo operatório e na minimização de intercorrências, exigindo, por sua vez, protocolos robustos de validação e padronização entre plataformas (Tavares *et al.*, 2024).

Estudos recentes que aplicam modelos de aprendizado de máquina à predição de falhas protéticas e peri-implantites apontam desempenho promissor, entretanto a literatura evidencia lacunas metodológicas, baixa taxa de validação externa e heterogeneidade de desfechos, circunstâncias que limitam a tradução imediata desses modelos para a rotina clínica e realçam a urgência de estudos multicêntricos que comprovem reprodutibilidade e segurança (Monteiro *et al.*, 2025).

O desenvolvimento de algoritmos capazes de identificar características de implantes a partir de radiografias periapicais e panorâmicas amplia o repertório diagnóstico do clínico, auxiliando na seleção de componentes protéticos e na estratégia restauradora, ao mesmo tempo em que impõe reflexões sobre compatibilidade de bancos de imagem, direitos de propriedade intelectual dos modelos e a interoperabilidade entre softwares e dispositivos de diferentes fabricantes (Santos, 2020).

As discussões éticas associadas à odontologia digital e ao uso de inteligência artificial concentram-se em temas centrais como a privacidade dos dados, o consentimento informado, a responsabilidade diante de decisões automatizadas e o risco de vieses algorítmicos que podem reproduzir desigualdades assistenciais, parâmetros esses que exigem a construção de políticas

institucionais e de boas práticas profissionais para assegurar transparência e equidade no cuidado (Oliveira, 2024).

Do ponto de vista educacional e de formação profissional, a incorporação da IA na implantodontia demanda a reestruturação dos currículos e programas de especialização, uma vez que o domínio técnico das ferramentas digitais, aliado à compreensão crítica de suas limitações e potenciais vieses, constitui competência indispensável para o exercício responsável da profissão na era digital (Savegnago *et al.*, 2024).

Além dos desafios técnicos e formativos, impõe-se considerar os aspectos éticos regulatórios, pois a conformidade com normativas de proteção de dados, a certificação de softwares médicos e os critérios de responsabilidade profissional devem caminhar integrados, de modo a preservar a segurança dos pacientes e a integridade do ato clínico, enquanto se promove a inovação tecnológica (Toledo, 2024).

A translacionalidade dos achados de pesquisa para a prática clínica demanda estratégias de implementação que envolvam validação prospectiva, integração com prontuários eletrônicos e avaliação do impacto em desfechos relevantes ao paciente, tais medidas são essenciais para que os ganhos tecnológicos em precisão e eficiência se convertam em benefícios reais e mensuráveis na saúde bucal (Monteiro *et al.*, 2025).

O presente estudo propõe-se a articular, de forma crítica e sistemática, as evidências sobre aplicações de inteligência artificial na implantodontia, enfocando tanto os avanços técnicos no planejamento e na execução de implantes quanto os dilemas éticos e normativos que emergem dessa transição para a odontologia digital, essa síntese pretende oferecer subsídios práticos para profissionais e gestores que buscam adotar tais tecnologias com segurança e responsabilidade (Silva *et al.*, 2025).

O objetivo do presente estudo é analisar a literatura brasileira disponível sobre inteligência artificial aplicada à implantodontia, com foco nas aplicações clínicas, na predição de desfechos implantários e nas implicações éticas inerentes à prática odontológica digital, buscar lacunas de conhecimento e propor recomendações para pesquisa futura e para a implementação clínica responsável.

A justificativa se da a produção de conhecimento que correlacione a eficácia das ferramentas de IA em planejamento e execução de implantes com as exigências éticas e regulatórias reveste-se de importância prática e social, pois clínicas e profissionais necessitam de orientações baseadas em evidências para adotar tecnologias que prometem maior precisão e eficiência, sem comprometer a privacidade, a autonomia do paciente e a responsabilidade profissional, assim, este trabalho pretende

preencher um espaço de análise crítica que auxilie na tomada de decisão clínica e nas políticas institucionais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 APLICAÇÕES CLÍNICAS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA IMPLANTODONTIA

A utilização de algoritmos de aprendizado profundo em imagens radiográficas e tomográficas tem ampliado a capacidade de detecção de anatomias críticas e de anomalias ósseas, permitindo ao cirurgião-dentista obter mapas tridimensionais de densidade e de volume ósseo que subsidiam o posicionamento ideal do implante e a avaliação da necessidade de enxertia, aspecto este que eleva a precisão do planejamento pré-operatório e favorece decisões protéticas mais assertivas (Tavares *et al.*, 2024).

Modelos de *machine learning* aplicados à cirurgia guiada por computador têm possibilitado simulações virtuais que antecipam conflitos anatômicos e prevêm trajetórias de perfuração com base em milhares de imagens previamente rotuladas, ferramenta que contribui para reduzir o tempo de cadeira e aumentar a previsibilidade dos resultados, contudo, essa automação requer processos de validação e rotinas de calibração entre scanners, softwares e guias cirúrgicos (Tavares *et al.*, 2024).

Sistemas capazes de identificar marcas e características de implantes a partir de radiografias por meio de redes neurais convolucionais fornecem suporte à seleção de componentes protéticos e à compatibilidade de peças, recurso especialmente útil em reabilitações complexas e em casos de documentação clínica fragmentada, favorecendo a rastreabilidade do planejamento e a comunicação entre laboratórios e clínicas (Santos, 2020).

A integração de modelos preditivos para estimar risco de falha implantária e ocorrência de peri-implantite tem apresentado métricas promissoras em estudos nacionais, tais modelos incorporam variáveis clínicas, demográficas e de imagem, permitindo estratificar pacientes segundo probabilidade de complicações, essa abordagem orienta decisões quanto a protocolos de manutenção e estratégias de seguimento, entretanto demanda validação multicêntrica para garantir generalizabilidade (Monteiro *et al.*, 2025).

Ferramentas de segmentação automática de estruturas anatômicas em tomografias cone beam aceleram a geração de guias virtuais e planos cirúrgicos, reduzindo a subjetividade presente em moldagens manuais e na interpretação visual, esse ganho operacional melhora a reprodutibilidade dos procedimentos de implantodontia guiada, exigindo, contudo, atenção à qualidade do conjunto de dados de treinamento para mitigar vieses de representação (Savegnago *et al.*, 2024).

A combinação entre CAD/CAM e inteligência artificial viabiliza fluxos digitais que vão desde a captura intraoral até a confecção de provisórios e componentes definitivos, essa cadeia integrada reduz etapas manuais e possibilita ajustes protéticos baseados em análises automatizadas da relação oclusal e do suporte mucoso, contribuindo para reabilitações estéticas e funcionais com maior previsibilidade (Neves Neto *et al.*, 2025).

Aplicações em planejamento estético e em simulações de sorriso têm permitido ao paciente visualizar prognósticos e alternativas terapêuticas por meio de modelos renderizados, recurso que favorece o consentimento informado e a adesão ao tratamento, contudo, é essencial que tais representações sejam acompanhadas de explicitação sobre incertezas inerentes às previsões algorítmicas (Silva *et al.*, 2025).

Soluções baseadas em IA para monitoramento pós-operatório, incluindo análise automática de imagens para detecção precoce de sinais de inflamação ou deslocamento de componentes, prometem otimizar protocolos de manutenção e reduzir visitas presenciais desnecessárias, prática que pode aumentar a eficiência do serviço odontológico desde que sejam definidos limites claros de responsabilidade clínica (Monteiro *et al.*, 2025).

A teleodontologia integrada a algoritmos de triagem assistida tem ampliado o alcance do atendimento e possibilitado consultas preliminares orientadas por resultados automatizados, essa articulação entre atendimento remoto e planejamento presencial é especialmente relevante para regiões com escassez de especialistas, porém impõe exigências rigorosas quanto à segurança de dados e à interoperabilidade entre plataformas (Oliveira, 2024).

Em pesquisa translacional, bancos de imagens nacionais e multimodais constituem insumos essenciais para o treinamento de modelos robustos, a construção e compartilhamento controlado desses repositórios, aliados a protocolos de rotulagem e normalização, são pré-requisitos para que algoritmos treinados apresentem desempenho estável em populações diversas e em cenários clínicos reais (Savegnago *et al.*, 2024).

A incorporação de sistemas de apoio à decisão clínica que sintetizam dados de imagem, histórico do paciente e evidências científicas facilita a personalização de planos terapêuticos, dessa forma é possível ajustar fatores como sequência cirúrgica, tipo de implante e regime de antibióticoterapia de maneira mais embasada, contudo deve-se preservar o papel do profissional como árbitro final das escolhas clínicas (Neves Neto *et al.*, 2025).

Assim, a aplicação clínica da IA na implantodontia exige uma articulação entre desenvolvimento tecnológico, avaliação de impacto clínico e formação continuada dos profissionais, iniciativas que promovam validação prospectiva, auditoria de desempenho dos algoritmos e

capacitação crítica dos usuários são determinantes para que os ganhos em eficiência e precisão se convertam em melhoria efetiva dos desfechos para os pacientes (Toledo, 2024).

2.2 DIRETRIZES E CAMINHOS PARA O AVANÇO DA IMPLANTODONTIA DIGITAL

A proteção de dados clínicos e imagiológicos impõe requisitos técnicos e organizacionais rigorosos, dado que o uso de plataformas e repositórios para treinamento e inferência de modelos de IA envolve transferência, armazenamento e processamento de informações sensíveis, sendo imprescindível a implementação de controles de acesso, políticas de anonimização, contratos que delimitem responsabilidades e o alinhamento estrito com a Lei Geral de Proteção de Dados, medidas que preservem a confidencialidade e a confiança entre paciente e profissional (Oliveira, 2024).

O consentimento informado exige formulação clara e acessível, pois o paciente deve ser capaz de compreender o papel dos algoritmos no diagnóstico e no planejamento, as limitações das previsões automatizadas, os riscos potenciais relacionados a vieses e ao tratamento de seus dados, e as opções de recusa ou de exclusão de seus registros para fins de pesquisa, elementos que dizem respeito à autonomia e à legitimidade do ato clínico (Silva *et al.*, 2025).

Com isso, a explicabilidade dos algoritmos de *deep learning* representa um desafio técnico e ético, visto que muitas redes neurais produzem recomendações cuja lógica interna é opaca, circunstância que dificulta a justificativa clínica, a fiscalização por pares e a prestação de contas perante pacientes e órgãos reguladores, exigindo o desenvolvimento de ferramentas de auditoria, relatórios de desempenho e estratégias que tornem as inferências mais compreensíveis sem comprometer a acurácia (Neves Neto *et al.*, 2025).

A heterogeneidade e a representatividade dos conjuntos de dados utilizados para treinar modelos de IA são fontes potenciais de viés, portanto é necessário promover curadoria criteriosa, amostragens que reflitam a diversidade populacional brasileira, protocolos de rotulagem padronizados e validações externas, práticas que reduzem o risco de recomendações menos eficazes para grupos subrepresentados e que reforçam a equidade no acesso a benefícios tecnológicos (Savegnago *et al.*, 2024).

Entretanto, a responsabilização por decisões clínicas assistidas por IA requer clareza normativa, pois a definição de quem responde por um desfecho adverso — o desenvolvedor do software, o fornecedor da plataforma ou o profissional que integrou a recomendação ao plano de tratamento — precisa de balizamento legal e de critérios técnicos para certificação, sendo imprescindível que o software seja entendido, no ordenamento jurídico, como instrumento auxiliar cuja utilização exige supervisão clínica (Toledo, 2024).

Além disso, a segurança cibernética constitui imperativo ético e operacional, porque falhas de proteção ou ataques que resultem em vazamento de imagens e dados clínicos comprometem a privacidade dos pacientes e a continuidade do cuidado, assim, políticas de backup, criptografia de ponta a ponta, testes de invasão e planos de resposta a incidentes devem fazer parte das obrigações contratuais entre clínicas e fornecedores de tecnologia (Silva *et al.*, 2025).

Contudo, a interoperabilidade entre sistemas e a governança sobre modelos proprietários suscitam questões relativas à auditoria independente e à propriedade intelectual, pois algoritmos fechados reduzem a capacidade de verificação externa quanto a vieses e desempenho, portanto contratos e normas técnicas deveriam prever cláusulas de acesso controlado para análises imparciais e exigências de documentação que permitam avaliações de segurança e eficácia (Santos, 2020).

A certificação e o enquadramento regulatório de softwares como dispositivos médicos exigem evidências de validade clínica e de benefício em desfechos relevantes, por isso testes clínicos, estudos prospectivos e indicadores padronizados de desempenho são necessários para que ferramentas de IA obtenham aprovação e sejam monitoradas continuamente em ambiente real, práticas essas que fortalecem a confiança profissional e a segurança do paciente (Tavares *et al.*, 2024).

A formação ética e técnica dos profissionais é condição de uso responsável, visto que a competência para interpretar resultados, identificar limitações dos algoritmos e comunicar incertezas ao paciente exige programas de capacitação contínua e a inclusão de conteúdos sobre governança de dados, vieses e regulação nos currículos de graduação e especialização, medidas que asseguram julgamento clínico qualificado na era digital (Oliveira, 2024).

Já a questão distributiva e de acesso tecnológico chama atenção para o risco de ampliação de desigualdades, uma vez que soluções de ponta tendem a se concentrar em centros urbanos e em clínicas com maior capacidade financeira, daí a necessidade de políticas públicas, modelos de negócios colaborativos e iniciativas de tecnologia apropriada que permitam escalabilidade e adaptação a contextos com recursos limitados, visando reduzir lacunas assistenciais (Savegnago *et al.*, 2024).

Assim, a transparência na relação entre fornecedores, instituições e profissionais é vital para evitar conflitos de interesse e mensagens comerciais que superestimem a eficácia de ferramentas automatizadas, comunicação fundada em evidências, divulgação clara de parcerias e mecanismos de governança para gerir incentivos são práticas necessárias para preservar a integridade profissional e a confiança social (Toledo, 2024).

Com isso, a construção de marcos normativos e diretrizes específicas para a utilização de IA em implantodontia demanda diálogo permanente entre reguladores, sociedades científicas, desenvolvedores, profissionais e representantes da sociedade civil, esforços que estabeleçam padrões

mínimos de validação, métricas de desempenho clínico e requisitos éticos para pesquisa e prática assistencial, a fim de equilibrar inovação tecnológica com proteção aos direitos e à segurança dos pacientes (Neves Neto *et al.*, 2025).

2.3 PROPOSTAS E DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL ODONTOLÓGICA

A consolidação de repositórios nacionais multimodais e padronizados permitirá o treino de modelos mais robustos, ao passo que favorecerá pesquisas multicêntricas capazes de testar a reprodutibilidade dos algoritmos em diferentes regiões e perfis demográficos, requisito indispensável para reduzir vieses e aumentar a validade externa das soluções aplicadas à implantodontia (Savegnago *et al.*, 2024).

Além disso, o desenvolvimento de protocolos de validação prospectiva e de indicadores clínicos padronizados deve ser priorizado, tendo em vista que apenas evidências provenientes de estudos controlados e com acompanhamento de desfechos relevantes ao paciente garantem que ganhos de acurácia se convertam em melhorias tangíveis na saúde bucal (Monteiro *et al.*, 2025).

Por conseguinte, recomenda-se que os processos de certificação de softwares sigam critérios que avaliem desempenho, segurança e explicabilidade, assim propiciando que ferramentas disponibilizadas ao mercado tragam documentação técnica adequada e relatórios de auditoria que possibilitem verificação independente por pares e órgãos reguladores (Tavares *et al.*, 2024).

Em vista disso, a criação de mecanismos que promovam a interoperabilidade entre diferentes sistemas e dispositivos é estratégica, pois fluxos digitais integrados diminuem a fragmentação da informação, facilitam a rastreabilidade e reduzem erros decorrentes de conversões de formatos, elementos críticos para a prática segura e eficiente da implantodontia digital (Neves Neto *et al.*, 2025).

Além do mais, políticas públicas de fomento e linhas de financiamento direcionadas a soluções de baixo custo são necessárias para evitar a concentração tecnológica em centros de excelência, sendo urgente apoiar projetos que adaptem ferramentas de IA a contextos com infraestrutura limitada, promovendo assim maior equidade no acesso a inovações clínicas (Savegnago *et al.*, 2024).

Ainda, no campo educacional, impõe-se a inclusão sistemática de conteúdos sobre inteligência artificial, governança de dados e ética nos currículos de graduação e pós-graduação, ao mesmo tempo em que programas de capacitação continuada devem preparar os profissionais para interpretar outputs algorítmicos, reconhecer limitações e comunicar incertezas aos pacientes (Oliveira, 2024).

Outrossim, incentivos à pesquisa translacional que estimulem parcerias entre universidades, serviços de saúde e indústria tecnológica contribuirão para testes pragmáticos em cenários reais,

acelerando a adoção responsável quando comprovado benefício clínico, e promovendo feedbacks que aprimorem a usabilidade e a segurança das ferramentas (Silva *et al.*, 2025).

Importa também fomentar práticas de governança de dados que equilibrem a necessidade de grande massa informacional para treinamento dos modelos com salvaguardas rígidas de privacidade, incluindo processos de anonimização, consentimento dinâmico e acordos de compartilhamento que definam responsabilidades e usos permitidos (Oliveira, 2024).

Dessa forma, recomenda-se que contratos entre clínicas e fornecedores contenham cláusulas de auditoria e de avaliação contínua de desempenho, permitindo que instituições de saúde exijam métricas de eficácia e segurança como condição para adoção, assegurando transparência e capacidade de intervenção em caso de desvios de performance (Santos, 2020).

No âmbito regulatório, é desejável o estabelecimento de diretrizes específicas para a aplicação de IA em odontologia, contemplando critérios mínimos de evidência, requisitos de monitoração pós-comercialização e fluxos de responsabilidade jurídica que esclareçam o papel do profissional e do fabricante diante de eventos adversos (Tavares *et al.*, 2024).

Em termos de inovação tecnológica, investimentos em técnicas de *explainable AI* e em arquiteturas híbridas que combinem modelos de alto desempenho com camadas de interpretação contribuirão para a aceitabilidade clínica, pois aumentam a confiança do profissional ao permitir compreender os fatores que fundamentam uma recomendação automatizada (Neves Neto *et al.*, 2025).

Assim, a agenda futura deve privilegiar a construção de redes colaborativas nacionais e internacionais que compartilhem protocolos, *datasets* anotados e boas práticas, iniciativa que acelera o amadurecimento científico da área, reduz duplicação de esforços e orienta a adoção de tecnologias que efetivamente melhoram os desfechos em implantodontia (Silva *et al.*, 2025).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho adotou o delineamento de revisão bibliográfica de caráter integrador, com o propósito de mapear e sintetizar evidências sobre aplicações clínicas da inteligência artificial na implantodontia e seus desafios éticos, procedimento orientado por princípios metodológicos que privilegiam a sistematização da busca, a seleção criteriosa das fontes e a análise crítica da literatura secundária, seguindo as recomendações gerais para revisões descritas por Gil (2019).

A estratégia de busca foi construída combinando termos controlados e livres relacionados a “inteligência artificial”, “implantodontia”, “cirurgia de implante”, “planejamento digital”, “ética” e “odontologia digital”, empregando operadores booleanos para otimizar a sensibilidade e a especificidade das pesquisas nas bases SciELO, LILACS, BVS, Google Acadêmico e repositórios

institucionais nacionais, com corte temporal definido para priorizar publicações da última década e garantir relevância contemporânea, conforme orientações sobre planejamento de busca bibliográfica (Lakatos *et al.*, 2010).

Foram estabelecidos critérios explícitos de inclusão e exclusão, incluindo como elegíveis artigos originais, revisões narrativas e sistemáticas, dissertações e teses com foco em aplicações de IA em implantodontia e em aspectos éticos da odontologia digital em contexto brasileiro, excluíram-se comunicações não científicas, relatos de casos isolados sem análise metodológica e documentos que não apresentassem informações suficientes para extração estruturada de dados, critérios esses definidos para assegurar coerência entre os objetivos de investigação e o corpus analisado (Gil, 2019).

A triagem das referências seguiu etapas sequenciais, iniciando-se pelo exame de títulos e resumos para remoção de estudos manifestamente irrelevantes, progredindo para leitura crítica de textos completos dos registros potencialmente elegíveis, procedimento realizado por dois revisores de forma independente com resolução de discordâncias por consenso e registro das decisões em planilha padronizada, método que reduz vieses de seleção e aumenta a confiabilidade da amostragem bibliográfica (Lakatos *et al.*, 2010).

A extração dos dados foi realizada mediante formulário padronizado que contemplou campos para identificação bibliográfica, objetivos, desenho metodológico, amostra, tipo de algoritmo de IA empregado, métricas de desempenho, aplicações clínicas descritas, implicações éticas discutidas e limitações reconhecidas pelos autores, essa estrutura permitiu organizar a informação de forma comparável entre estudos e facilitar a síntese temática subsequente (Gil, 2019).

A avaliação crítica da qualidade metodológica das fontes priorizou aspectos como clareza do delineamento, adequação das métricas estatísticas, existência de validação externa de modelos de IA e grau de detalhamento sobre processos de rotulagem e curadoria de dados, embora se reconheça a natureza heterogênea dos estudos em IA, adotaram-se critérios de julgamento baseados em robustez metodológica e transparência de reporte para orientar a interpretação das evidências (Lakatos *et al.*, 2010).

A síntese dos achados foi conduzida de forma narrativa e temática, agrupando os estudos segundo categorias como planejamento cirúrgico assistido por IA, predição de falhas implantárias, identificação automatizada de componentes, integração CAD/CAM e discussões éticas e regulatórias, dessa maneira foi possível articular convergências, divergências e lacunas de conhecimento, produzindo uma narrativa crítica que relaciona evidência empírica e implicações práticas (Gil, 2019).

Reconheceram-se limitações inerentes ao desenho de revisão bibliográfica, tais como a possibilidade de viés de publicação, a heterogeneidade metodológica entre estudos que dificulta

comparações diretas e a velocidade de evolução tecnológica que pode tornar parte da literatura rapidamente obsoleta, limitações essas elas foram consideradas na interpretação dos resultados e na proposição de recomendações para pesquisas futuras (Lakatos *et al.*, 2010).

No que tange a considerações éticas relativas ao próprio processo de revisão, a pesquisa respeitou direitos autorais e uso legítimo do material científico, não implicou coleta de dados primários com sujeitos humanos e priorizou fontes publicadas e de acesso institucional ou aberto, procedimento que assegura integridade no uso das evidências e conformidade com práticas acadêmicas responsáveis (Gil, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que as aplicações de inteligência artificial na implantodontia apresentam ganhos concretos em acurácia diagnóstica e em previsibilidade do posicionamento implantar, evidenciando maior sensibilidade na identificação de estruturas anatômicas críticas e redução de variabilidade interobservador quando os algoritmos são integrados a protocolos de planejamento digital, ganhos esses que se refletem em menor tempo cirúrgico e em redução de retrabalhos protéticos em cenários controlados (Tavares *et al.*, 2024).

Em muitos estudos sobre predição de falhas implantárias e peri-implantite, os modelos de aprendizado de máquina demonstraram desempenho elevado em amostras internas, com AUROC que atinge patamares clinicamente relevantes, contudo a interpretação desses indicadores exige prudência diante da escassez de validações externas e da heterogeneidade nos desfechos reportados, fatores que limitam a generalização direta para a rotina clínica (Monteiro *et al.*, 2025).

Verificou-se que sistemas de reconhecimento automático de marcas e componentes em radiografias oferecem utilidade diagnóstica em contextos de documentação incompleta, favorecendo escolhas protéticas e comunicação entre laboratórios e clínicas, entretanto a eficácia operacional depende de padronização de imagens, qualidade do arquivo radiográfico e disponibilidade de bases rotuladas que abarquem a diversidade de fabricantes (Santos, 2020).

Há evidências de que a segmentação automática em exames *cone beam* acelera a geração de guias cirúrgicos e melhora a reprodutibilidade do planejamento, esse processo reduz a subjetividade associada ao planejamento manual e tende a uniformizar resultados técnicos, embora seja condicionada à curadoria e à representatividade dos conjuntos de dados utilizados no treinamento dos modelos (Savegnago *et al.*, 2024).

A integração entre ferramentas de IA e fluxos CAD/CAM impulsiona a cadeia digital desde a captura intraoral até a confecção de provisórios e componentes definitivos, resultando em ganhos

operacionais que aumentam a eficiência do consultório e a previsibilidade protética, vantagens que coexistem com desafios práticos relacionados a custos iniciais, compatibilidade entre plataformas e à necessidade de atualização contínua de infraestrutura tecnológica (Neves Neto *et al.*, 2025).

Modelos preditivos destinados ao seguimento pós-operatório e à detecção precoce de complicações mostram potencial para transformar protocolos de manutenção, ao permitir intervenções proativas com base em sinais automatizados, prática que pode reduzir morbidade e custos assistenciais, entretanto sua implementação requer delimitação clara de responsabilidades profissionais e protocolos que definam limites de atuação automatizada (Monteiro *et al.*, 2025).

Sistemas de segmentação e de apoio que dependem de grandes repositórios de imagens colocam em evidência a necessidade de estratégias de governança de dados, visto que a construção de bancos multimodais, a padronização de rotulagem e a curadoria ativa são pré-requisitos para garantir desempenho robusto e reduzir vieses decorrentes de amostras pouco diversificadas (Savegnago *et al.*, 2024).

Fluxos digitais que combinam detecção automatizada, planejamento virtual e fabricação assistida demonstram benefícios na redução de etapas manuais e na melhoria do ajuste inicial das restaurações, benefícios esses que favorecem a satisfação do paciente e a eficiência clínica, ao mesmo tempo em que exigem avaliação econômica cuidadosa para justificar investimentos em diferentes modelos de prática odontológica (Neves Neto *et al.*, 2025).

Ferramentas de monitoramento remoto e de triagem assistida integradas à teleodontologia ampliam o alcance do atendimento e possibilitam triagens preliminares baseadas em análises automatizadas, recurso valioso para regiões com escassez de especialistas, contudo sua adoção depende de garantias sobre a segurança dos dados, da interoperabilidade entre plataformas e da definição de fluxos de encaminhamento que preservem a segurança clínica (Monteiro *et al.*, 2025).

Questões relativas à explicabilidade dos modelos e à transparência nas recomendações algorítmicas emergem como entraves éticos e práticos, uma vez que tanto profissionais quanto pacientes demandam justificativas claras sobre predições automatizadas, sendo urgente desenvolver mecanismos de auditoria, relatórios interpretáveis e rotinas que traduzam outputs técnicos em linguagem clínica compreensível (Silva *et al.*, 2025).

As limitações metodológicas identificadas na literatura, entre as quais se destacam o baixo número de estudos multicêntricos, a ausência de padronização de desfechos e a carência de validação externa, comprometem a translação dos resultados para a prática, implicando a necessidade de protocolos de pesquisa mais robustos, de indicadores clínicos padronizados e de iniciativas colaborativas que permitam comparabilidade e replicação (Tavares *et al.*, 2024).

Em síntese, a inteligência artificial oferece contribuições relevantes à implantodontia em termos de precisão diagnóstica, apoio ao planejamento e eficiência operacional, porém a consolidação desses benefícios exige esforços coordenados de validação clínica, governança de dados, formação profissional e regulação adequada, medidas que permitirão balancear inovação tecnológica com segurança e equidade no cuidado odontológico (Silva *et al.*, 2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese das evidências analisadas demonstra que a inteligência artificial introduz ganhos palpáveis à implantodontia em termos de precisão diagnóstica, otimização do planejamento cirúrgico e suporte ao seguimento clínico, ganhos esses que convergem para maior previsibilidade dos procedimentos e para potencial redução de complicações, contudo a materialização desses benefícios depende de validação rigorosa, de governança de dados e de arquitetura de implementação que preservem a segurança do paciente.

Do ponto de vista operacional, a integração de fluxos digitais — que articulam captura intraoral, segmentação automática, planejamento virtual e fabricação assistida — oferece oportunidades reais para simplificar rotinas clínicas e elevar padrões protéticos, exigindo porém investimento em interoperabilidade, contratos que clarifiquem responsabilidades técnicas e protocolos de qualidade que assegurem compatibilidade entre dispositivos e plataformas.

No campo ético e regulatório, impõe-se consolidar práticas que garantam privacidade, consentimento informado e auditoria transparente dos modelos algorítmicos, medidas essas que devem contemplar anonimização robusta, documentação de processos de rotulagem e exigências contratuais que permitam verificação independente, elementos imprescindíveis para manter a confiança dos pacientes e a responsabilidade profissional.

Quanto à formação profissional, a incorporação criteriosa de conteúdos sobre inteligência artificial, vieses algorítmicos e governança de dados nos cursos de graduação e nas especializações é condição para que o cirurgião-dentista preserve seu papel decisório, sendo necessário desenvolver programas de capacitação contínua que combinem conhecimento técnico, interpretação crítica de outputs e habilidade comunicativa para explicar incertezas aos pacientes.

No plano da pesquisa, recomenda-se priorizar estudos multicêntricos com validação externa, protocolos padronizados de desfecho e construção de repositórios nacionais multimodais que representem a diversidade populacional brasileira, ações que aumentam a robustez dos modelos, reduzem vieses de representação e possibilitam avaliações econômicas que sustentem decisões de adoção tecnológica em diferentes modelos de prática.

Em termos de política e governança, torna-se urgente estabelecer critérios claros para certificação de softwares usados em saúde bucal, definir métricas mínimas de desempenho clínico e fomentar marcos de interoperabilidade e de auditoria técnica, iniciativas que favoreçam inovação responsável e que orientem compras públicas e práticas corporativas com base em evidências.

Sobre equidade e acesso, deve-se promover soluções escaláveis e apropriadas para contextos com recursos limitados, alternativas de baixo custo e programas de cooperação que descentalizem tecnologias de ponta, esforços que contribuem para que os ganhos gerados pela IA não se restrinjam a centros de excelência, mas alcancem populações mais amplas no sistema de saúde.

Assim, conclui-se que a inteligência artificial representa instrumento potente para aprimorar a implantodontia, desde que sua incorporação seja conduzida mediante validação científica, governança ética, capacitação profissional e políticas públicas que promovam segurança e equidade, convite esse a profissionais, pesquisadores, reguladores e desenvolvedores para colaborar numa agenda translacional que converta promessa tecnológica em benefícios concretos e sustentáveis para os pacientes.

REFERÊNCIAS

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. Metodologia científica. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MONTEIRO, R. S. F. *et al.* Predição de falhas em implantes dentários usando modelos de aprendizado de máquina: uma revisão integrativa. Revista DCS, v. 22, n. 81, p. 1-19, 2025. DOI: 10.54899/dcs.v22i81.3012.

NEVES NETO, R. N. da S.; CAMARDELA, T. W. M.; CARVALHO, H. D. de. Inteligência Artificial na Odontologia: avanços tecnológicos, desafios éticos e diretrizes para uma aplicação responsável no Brasil. Brazilian Journal of Health Review, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 1-18, mar./abr. 2025. DOI: 10.34119/bjhrv8n2-406.

OLIVEIRA, L. L. Aspectos éticos do uso da inteligência artificial na odontologia. 2024. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Odontologia) — Centro Universitário Christus (Unichristus), Fortaleza, 2024.

SANTOS, R. P. M. Identificação automática de implantes dentais com o uso de inteligência artificial. 2020. 47 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) — Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

SAVEGNAGO, G. D. O. *et al.* Inteligência artificial na odontologia: uma revisão narrativa de literatura. RFO UPF, Passo Fundo, v. 29, n. 1, 2024. DOI: 10.5335/rfo.v29i1.15733.

SILVA, M. R. C. dos *et al.* Deontologia na odontologia digital: ética no uso de tecnologias avançadas. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE, São Paulo, v. 11, n. 5, maio 2025.

TAVARES, L. M. T. *et al.* O papel da Inteligência Artificial na otimização da cirurgia de implante guiada por computador. Brazilian Journal of Health Review, v. 7, n. 9, p. 1-12, nov./dez. 2024. DOI: 10.34119/bjhrv7n9-123.

TOLEDO, A. P. C. Dentistas digitais: como a inteligência artificial está moldando o futuro da Odontologia. J Multidiscip Dent., v. 14, n. 3, p. 89-97, 2024.