

Organizadores: Gabriel da Silva Costa, Ana Luisa de Castro e Silva,
Rafael Arantes Soares Reis, Jennifer Vera Santos Gumert

O IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO FUTURO DA ODONTOLOGIA



2026

Organizadores

**Gabriel da Silva Costa
Ana Luísa de Castro e Silva
Rafael Arantes Soares Reis
Jennifer Vera Santos Gumert**

O IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO FUTURO DA ODONTOLOGIA

1ª EDIÇÃO



SÃO LUÍS - 2026



EDITORA NOVUS

SÃO LUÍS - MA - 2026



WWW.EDITORANOVUS.COM.BR



EDITORANOVUS@GMAIL.COM

Diagramação e Edição

Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte

Romilson Carneiro Rodrigues

Conteudista

Autores © 2026

Normalização

José Marcelino Nascimento Veiga Júnior



© 2026 Copyright – Direitos reservados. A Editora Novus é detentora dos direitos autorais relativos à edição, diagramação e ao projeto gráfico da presente obra. Os autores permanecem titulares dos direitos autorais de seus respectivos textos. Esta publicação está licenciada sob a Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0), permitindo a reprodução, o download e o compartilhamento total ou parcial do conteúdo, desde que a fonte seja devidamente citada, com atribuição obrigatória de autoria, e que a obra seja disponibilizada exclusivamente em Acesso Aberto (Open Access). Não é permitida qualquer forma de alteração, adaptação ou modificação do conteúdo, bem como sua disponibilização em plataformas de acesso restrito ou com finalidade comercial.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C837i

Gabriel da Silva Costa.

O impacto da inteligência artificial no futuro da odontologia. / Gabriel da Silva Costa et al. – São Luís: Editora Novus, 2026.

56 f.: il. color. (O impacto da inteligência artificial no futuro da odontologia; volume 1)

Publicação digital (e-book) no formato PDF

ISBN: 978-65-84364-19-6

DOI: 10.29327/5798835

1. Inteligência artificial. 2. Odontologia digital. 3. Diagnóstico por imagem. 4. Planejamento cirúrgico. 5. Inovação tecnológica. I. Silva, Ana Luísa de Castro e. II. Reis, Rafael Arantes Soares. III. Gumert, Jennifer Vera Santos. IV. Título.

CDU: 616.31:004.8

Elaborado por José Marcelino Nascimento Veiga Júnior – CRB 13/320

CONSELHO EDITORIAL

Dr^a Anali Linhares Lima
M.Sc. Alan Jefferson Lima de Moraes
Dr. André Leonardo Demaison Medeiros Maia
Dr^a Anna Christina Sanazario de Oliveira
Dr^a Aurea Maria Barbosa de Sousa
Dr^a Camila Pinheiro Nobre
Dr. Claudio Alves Benassi
Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Dr^a Claudiene Diniz da Silva
Dr. Diogo Guagliardo Neves
M.Sc. Eduardo Oliveira Pereira
Dr^a Elba Pereira Chaves
Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior
M.Sc. Érica Mendonça Pinheiro
Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda
M.Sc. Fernanda Tabita Barroso Zeidan
Dr. George Alberto da Silva Dias
Dr^a Gerbeli de Mattos Salgado Mochel
Dr^a Giselle Cutrim de Oliveira Santos
Dr^a Herlane de Olinda Vieira Barros
Dr^a Ivete Furtado Ribeiro Caldas
M.Sc. José Carlos Durans Pinheiro
M.Sc. Josiney Farias de Araújo

M.Sc. Julianno Pizzano Ayoub
Dr. Leonardo França da Silva
M.Sc. Lucianna Serfaty de Holanda
Dr^a Luciara Bilhalva Corrêa
Dr^a Luana Martins Cantanhede
Dr^a Maria Raimunda Chagas Silva
Dr^a Marina Bezerra Figueiredo
M.Sc. Mayanne Camara Serra
Dr^a Michela Costa Batista
Dr. Moisés dos Santos Rocha
Dr^a Priscila Xavier de Araújo
M.Sc. Ramaiany Carneiro Mesquita
Dr^a Rita de Cássia Silva de Oliveira
M.Sc. Rosany Maria Cunha Aranha
Dr. Saulo José Figueiredo Mendes
Dr^a Samantha Ariadne Alves de Freitas
Dr^a Sandra Imaculada Moreira Neto
M.Sc. Shirley Ribeiro Carvalho
Dr^a Sinara de Fátima Freire dos Santos
M.Sc. Tatiana Mendes Bacellar
Dr^a Thais Roseli Corrêa
Dr^a Thalita Karolline de Queiroz Pereira
M.Sc. Victor Crespo de Oliveira
Dr. Wellinton de Assunção
Dr. William de Jesus Ericeira Mochel Filho

Acesse www.editoranovus.com.br/corpo-editorial-2/ para conhecer os membros do Corpo Editorial

Parecer editorial e avaliação por pares

Os trabalhos que integram esta obra foram submetidos à apreciação do Conselho Editorial da Editora Novus e avaliados por pareceristas externos, por meio do sistema de revisão por pares (peer review), tendo sido considerados aptos para publicação.

Nota editorial: Trata-se de uma produção de caráter independente, na qual os direitos autorais permanecem sob a titularidade de seus respectivos autores. Eventualmente, alguns textos podem apresentar desdobramentos de pesquisas, comunicações ou trabalhos acadêmicos previamente apresentados ou defendidos, cabendo aos autores a observância rigorosa das boas práticas acadêmicas, especialmente no que se refere à prevenção do autoplágio. O conteúdo das obras é de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo, necessariamente, o posicionamento da Editora Novus, dos organizadores, dos revisores ou dos membros do Conselho Editorial.

ORGANIZADORES

Gabriel da Silva Costa

Gabriel da Silva Costa é cirurgião-dentista com atuação clínica nas áreas de Endodontia e Odontologia Restauradora. Possui especialização em Endodontia pela Faculdade São Leopoldo Mandic e formação complementar em Saúde da Família e Gestão em Saúde Pública, com foco na organização de serviços, cuidado integral ao paciente e prática baseada em evidências. Ao longo de sua trajetória profissional, adquiriu experiência no manejo de casos endodônticos de diferentes níveis de complexidade, atendimentos de urgência odontológica e procedimentos de reabilitação oral, com atuação em serviços públicos e privados. Paralelamente à prática clínica, dedica-se à produção científica, participando da elaboração de artigos, revisões de literatura e capítulos de livros nas áreas de Endodontia, inovação tecnológica e Odontologia contemporânea. Atua também como avaliador de artigos científicos (peer reviewer) da revista internacional Cureus. Seus interesses acadêmicos concentram-se em Odontologia baseada em evidências, inteligência artificial aplicada à prática clínica e novas abordagens terapêuticas voltadas à melhoria dos resultados clínicos. Além disso, exerce atividades de mentoria para cirurgiões-dentistas na produção científica e no desenvolvimento de projetos acadêmicos. Atualmente, desenvolve projetos voltados à expansão de sua atuação em nível internacional, com o objetivo de integrar excelência clínica, pesquisa científica e inovação em saúde.

Ana Luísa de Castro e Silva

Ana Luísa de Castro e Silva é cirurgiã-dentista, graduada em 2025 pela Universidade Salgado de Oliveira, em Goiânia, Goiás, Brasil. Atualmente, dedica-se à pesquisa nas áreas de Odontologia e Ciências Biomédicas, com foco na produção e disseminação do conhecimento científico. Sua atuação acadêmica reflete o compromisso com o avanço da ciência, contribuindo para o desenvolvimento da pesquisa e para o fortalecimento da produção científica brasileira.

Rafael Arantes Soares Reis

Rafael Arantes Soares Reis é cirurgião-dentista, especialista em Endodontia, com atuação clínica e acadêmica voltada à integração entre ciência, tecnologia e prática odontológica. Mestre em Telemedicina e Telessaúde pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), possui formação complementar em Saúde Pública e Gestão em Saúde Pública. Com experiência em pesquisa científica, ensino e desenvolvimento de soluções digitais aplicadas à saúde, dedica-se ao estudo da endodontia contemporânea, retratamentos endodônticos e inovação tecnológica em odontologia. É autor e coautor de trabalhos apresentados em congressos nacionais e internacionais, além de capítulos de livros, contribuindo para a disseminação do conhecimento científico e para a evolução da prática clínica baseada em evidências.

ORGANIZADORES

Jennifer Vera Santos Gumert

Jennifer Vera Santos Gumert é cirurgiã-dentista, atualmente residente em Longview, Novo México, Estados Unidos. Graduada em Odontologia pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE), em São Paulo, no ano de 2023, concluiu especialização em Periodontia em 2025, com ênfase na prevenção, diagnóstico e tratamento das doenças periodontais. Sua atuação profissional é voltada ao cuidado integral em saúde bucal, com experiência em terapias periodontais, reabilitação estética e abordagem interdisciplinar para a manutenção da saúde e da função oral. Desenvolve uma prática clínica orientada por princípios de odontologia baseada em evidências, priorizando resultados funcionais, estéticos e de longo prazo. Paralelamente à atividade clínica, dedica-se à produção científica na área odontológica, participando da elaboração de artigos acadêmicos e contribuindo para o desenvolvimento e a disseminação do conhecimento científico. Seu percurso profissional reflete o compromisso com a excelência clínica, atualização contínua e expansão de sua atuação em âmbito internacional.

PREFÁCIO

A Odontologia vive um dos momentos mais transformadores de sua história. A incorporação de tecnologias digitais, a consolidação da prática baseada em evidências e o avanço exponencial da Inteligência Artificial (IA) vêm redefinindo conceitos, protocolos e perspectivas clínicas. É nesse cenário dinâmico que se insere a obra *O Impacto da Inteligência Artificial no Futuro da Odontologia*, organizada por Gabriel da Silva Costa, Ana Luísa de Castro e Silva, Rafael Arantes Soares Reis e Jennifer Vera Santos Gumert, reunindo pesquisadores e clínicos comprometidos com a inovação responsável e com a excelência científica.

Ao longo dos capítulos, o leitor é conduzido por uma análise consistente e atualizada das aplicações da IA em diferentes especialidades odontológicas, desde o diagnóstico em Endodontia até o planejamento cirúrgico digital, o fluxo em Implantodontia, a Ortodontia e o desenvolvimento de biomateriais. A obra equilibra fundamentos teóricos, evidências científicas recentes e aplicações clínicas práticas, demonstrando como algoritmos de aprendizado de máquina e modelos de deep learning vêm ampliando a precisão diagnóstica, reduzindo variabilidades e promovendo maior previsibilidade terapêutica.

Mais do que exaltar avanços tecnológicos, o livro apresenta reflexão crítica sobre desafios éticos, limitações metodológicas e responsabilidades profissionais inerentes ao uso da IA na saúde. Reafirma-se, assim, que a tecnologia deve atuar como ferramenta de apoio à decisão clínica, preservando o protagonismo, o julgamento e a responsabilidade do cirurgião-dentista.

Esta obra representa uma contribuição relevante para estudantes, pesquisadores e profissionais que desejam compreender não apenas o “como”, mas o “porquê” da transformação digital na Odontologia. Trata-se de leitura essencial para aqueles que reconhecem que o futuro da profissão já está em construção — e que a integração entre ciência, tecnologia e ética será determinante para uma prática mais precisa, personalizada e humana.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
-------------------------	-----------

CAPÍTULO 1	13
-------------------------	-----------

USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DIAGNÓSTICO EM ENDODONTIA

Maria Luisa Silva de Melo

Flavia Moura Medina Diniz

Lídia Geralda Alves de Almeida

Vlademir Amaral-Cazatori

Andreza Calazans Rodrigues

Ana Luisa de Araujo Oliveira

Larissa Caroline Cayres Pereira

Sara Beatriz Cassini Michelin

Matheus Canova Machado

Lázara Isabel Vieira Leal

Deys Bruna Meyer da Silva Guedes

CAPÍTULO 2.....	19
------------------------	-----------

PLANEJAMENTO CIRÚRGICO DIGITAL NA EXTRAÇÃO DE TERCEIROS MOLARES IMPACTADOS: TECNOLOGIAS ATUAIS E APLICAÇÕES CLÍNICAS

Camila Roberta Nepomuceno Atripoli

Ronam Henrique Pegoraro

Camila Cunha do Nascimento

Ana Paula Silva Ferreira

Camila Cunha do Nascimento Bernal

Patricia Morgana Hordonho Santillo

Henrique Galvao de Zuniga Honorato

Diogo Martins de Freitas

Lara Caroline da Silva Martins

José Augusto Pinheiro Sperandio

CAPÍTULO 3.....	30
------------------------	-----------

FLUXO DIGITAL EM IMPLANTODONTIA: INTEGRAÇÃO ENTRE SCANNER INTRAORAL, CBCT, PLANEJAMENTO VIRTUAL E PRÓTESE CAD/CAM

Caroline Weinert Marçal

Letícia Yara Zanzin Rezende

Camila de Souza Nunes

Joice Oliveira Monteiro

Lahis Signor Caumo

Adriano Bonguardo

João Pedro Sant'Anna Rangel dos Santos
Ronam Henrique Pegoraro
Carolina do Nascimento Macedo
Renata Aparecida Rosa de Oliveira

CAPÍTULO 440

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ORTODONTIA: DIAGNÓSTICO, PLANEJAMENTO E MONITORAMENTO

Rafael Rudimar Holler Peres
Adriano Palhoni Sabarense
Renata Lauane Rodrigues Araujo
Ana Carolina Custódio da Silva De Nadai
Brenda Moraes da Silva
Bruna Moravia de Lira
Conrado Ribeiro de Oliveira
Inara Guedes
Aléxia Caroline Leandro da Conceição
Juliana Menezes Meireles
Marly Vale

CAPÍTULO 5.....47

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA A BIOMATERIAIS ODONTOLÓGICOS

Ana Beatriz Hoese
Aléxia Caroline Leandro da Conceição
Eliane de Carvalho Dourado Aragão
Ana Paula Silva Ferreira
Vlademir Amaral-Cazatori
Samantha Vitale Ribeiro Moreno
Flávia Maria Ferreira Mendes
Ediliana Dias Chaves Campos De Amaral
Sara Holanda Pinheiro
Gabriella Dantas de Almeida



INTRODUÇÃO

A Odontologia contemporânea encontra-se em um período de intensa transformação, impulsionada pela digitalização dos processos clínicos, pelo uso crescente de tecnologias baseadas em dados e pela necessidade de diagnósticos mais precisos, eficientes e reproduzíveis. Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) tem se consolidado como uma das inovações mais relevantes na área da saúde, impactando significativamente a prática clínica, a pesquisa e a educação profissional (LIYANAGE *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2023).

De modo geral, a Inteligência Artificial aplicada à saúde engloba sistemas computacionais capazes de simular processos cognitivos humanos, como aprendizado, reconhecimento de padrões e tomada de decisão, a partir da análise de grandes volumes de dados. Revisões recentes demonstram que algoritmos baseados em machine learning e deep learning vêm sendo amplamente utilizados para apoiar o diagnóstico, o monitoramento clínico e a organização dos serviços de saúde, com benefícios observados em diferentes contextos assistenciais, incluindo a atenção primária e o cuidado a populações específicas, como idosos (LIYANAGE *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2023).

No contexto odontológico, a adoção da Inteligência Artificial tem avançado de forma progressiva, acompanhando a expansão da odontologia digital e a crescente utilização de exames por imagem, prontuários eletrônicos e fluxos de trabalho computadorizados. Estudos apontam que a IA vem desempenhando um papel transformador na Odontologia, especialmente em áreas como diagnóstico por imagem, planejamento de tratamentos, análise de risco, educação odontológica e pesquisa científica, contribuindo para maior padronização diagnóstica e redução da variabilidade entre profissionais (SCHWENDICKE; SAMEK; KROIS, 2020; DAVE; PATEL, 2023; SAMARANAYAKE *et al.*, 2025).

Entre as aplicações mais consolidadas da IA na Odontologia, destaca-se o diagnóstico auxiliado por imagem. Algoritmos de deep learning, particularmente as redes neurais convolucionais, têm demonstrado elevado desempenho na análise de radiografias odontológicas e exames de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), permitindo a detecção precoce de patologias, como cárie dentária, lesões periapicais, alterações ósseas e outras condições maxilofaciais (PUTRA *et al.*, 2022; NEGI *et al.*, 2024). Esses sistemas apresentam níveis de acurácia, sensibilidade e especificidade comparáveis — e, em alguns cenários, superiores — aos métodos diagnósticos convencionais, reforçando seu potencial como ferramenta de apoio à decisão clínica.

Além do diagnóstico radiográfico, a Inteligência Artificial tem sido aplicada de maneira transversal em diferentes especialidades odontológicas. Na dentística restauradora, estudos recentes destacam o uso da IA no planejamento restaurador, na avaliação de preparos cavitários e na previsão de longevidade de restaurações (NAJEEB; ISLAM, 2025). Na odontopediatria, algoritmos inteligentes vêm sendo explorados como ferramentas auxiliares no manejo comportamental de pacientes infantis, contribuindo para abordagens mais individualizadas e humanizadas (ACHARYA *et al.*, 2024). Revisões abrangentes também evidenciam o papel crescente da IA no diagnóstico e na detecção de cárie dentária, consolidando seu uso clínico em diferentes níveis de complexidade (NEGI *et al.*, 2024).

Paralelamente aos avanços tecnológicos, a incorporação da Inteligência Artificial na Odontologia levanta importantes desafios éticos, legais e profission-

ais. Questões relacionadas à transparência dos algoritmos, vieses nos conjuntos de dados, equidade no acesso às tecnologias, proteção de dados sensíveis e definição de responsabilidades profissionais têm sido amplamente discutidas na literatura científica recente (SCHWENDICKE; SAMEK; KROIS, 2020; UEDA *et al.*, 2024). Estudos enfatizam que a IA deve ser utilizada como ferramenta de apoio à decisão clínica, sem substituir o julgamento profissional do cirurgião-dentista, preservando a autonomia e a responsabilidade ética na prática clínica.

No âmbito da educação odontológica, a Inteligência Artificial também tem se destacado como um recurso promissor. A literatura aponta seu potencial para personalizar processos de aprendizagem, auxiliar na avaliação de desempenho acadêmico e preparar futuros profissionais para uma prática clínica cada vez mais digital e baseada em evidências científicas (DAVE; PATEL, 2023). Dessa forma, a integração da IA no ensino odontológico representa um passo importante para a formação de profissionais mais críticos, tecnológicos e adaptados às demandas da Odontologia contemporânea.

Diante desse contexto, o presente livro tem como objetivo apresentar uma visão abrangente e atualizada sobre o papel da Inteligência Artificial na Odontologia, explorando seus fundamentos, aplicações clínicas, benefícios, limitações e perspectivas futuras. Ao longo dos capítulos, diferentes especialidades odontológicas são abordadas, evidenciando como a IA está sendo incorporada aos processos diagnósticos, terapêuticos e educacionais. Ao reunir evidências científicas recentes e discutir os desafios éticos e profissionais associados ao uso dessas tecnologias, esta obra busca contribuir para o desenvolvimento de uma prática odontológica mais precisa, ética, inovadora e alinhada com o futuro da profissão.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, S. *et al.* Role of artificial intelligence in behavior management of pediatric dental patients: a mini review. **Journal of Clinical Pediatric Dentistry**, v. 48, n. 3, p. 24–30, 2024.
- DAVE, M.; PATEL, N. Artificial intelligence in healthcare and education. **British Dental Journal**, v. 234, n. 10, p. 761–764, 2023.
- LIYANAGE, H. *et al.* Artificial intelligence in primary health care: perceptions, issues, and challenges. **Yearbook of Medical Informatics**, v. 28, n. 1, p. 41–46, 2019.
- MA, B. *et al.* Artificial intelligence in elderly healthcare: a scoping review. **Ageing Research Reviews**, v. 83, p. 101808, 2023.
- NAJEEB, M.; ISLAM, S. Artificial intelligence (AI) in restorative dentistry: current trends and future prospects. **BMC Oral Health**, v. 25, n. 1, p. 592, 2025.
- NEGI, S. *et al.* Artificial intelligence in dental caries diagnosis and detection: an umbrella review. **Clinical and Experimental Dental Research**, v. 10, n. 4, e70004, 2024.
- PUTRA, R. H. *et al.* Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 51, n. 1, 2022.
- SAMARANAYAKE, L. *et al.* The transformative role of artificial intelligence in dentistry: a comprehensive overview. Part 1: fundamentals of AI, and its contemporary applications in dentistry. **International Dental Journal**, v. 75, n. 2, p. 383–396, 2025.
- SCHWENDICKE, F.; SAMEK, W.; KROIS, J. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. **Journal of Dental Research**, v. 99, n. 7, p. 769–774, 2020.
- UEDA, D. *et al.* Fairness of artificial intelligence in healthcare: review and recommendations. **Japanese Journal of Radiology**, v. 42, n. 1, p. 3–15, 2024.



1

Uso da Inteligência Artificial no Diagnóstico em Endodontia

Maria Luisa Silva de Melo¹

Flavia Moura Medina Diniz²

Lídia Geralda Alves de Almeida³

Vlademir Amaral-Cazatori⁴

Andreza Calazans Rodrigues⁵

Ana Luisa de Araujo Oliveira⁶

Larissa Caroline Cayres Pereira⁷

Sara Beatriz Cassini Michelin⁸

Matheus Canova Machado⁹

Lázara Isabel Vieira Leal¹⁰

Deys Bruna Meyer da Silva Guedes¹¹

doi 10.29327/5798835.1-1

1 Especialista em Endodontia - Faculdade de Odontologia do Recife (FOR)

2 Mestre em Endodontia - Universidade de São Paulo (USP)

3 Cirurgiã-Dentista - Universidade Vale do Rio Doce

4 Mestre em Odontologia - Faculdade São Leopoldo Mandic, Campinas

5 Especialista em Endodontia - INCO 25

6 Cirurgiã-Dentista - Universidade Nove de Julho

7 Cirurgiã-Dentista

8 Cirurgiã-Dentista - Instituição Universidade Paranaense

9 Cirurgião-Dentista - Uningá

10 Cirurgiã-Dentista - FAMP

11 Cirurgiã-Dentista





diagnóstico endodôntico representa uma das etapas mais críticas e determinantes para o sucesso do tratamento dos canais radiculares. A correta identificação das condições pulpare e periapicais, a avaliação precisa da morfologia do sistema de canais e o reconhecimento de alterações estruturais, como fraturas e reabsorções radiculares, são fundamentais para o planejamento terapêutico adequado e para a obtenção de um prognóstico favorável a longo prazo. Entretanto, a Endodontia sempre foi marcada por desafios diagnósticos significativos, decorrentes da complexidade anatômica dos dentes, das limitações inerentes aos métodos de imagem convencionais e da variabilidade na interpretação clínica entre profissionais.

Nas últimas décadas, a incorporação de tecnologias digitais na Odontologia tem transformado profundamente a prática clínica. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma ferramenta capaz de redefinir o diagnóstico endodôntico, oferecendo suporte computacional avançado para análise de dados clínicos e radiográficos. Revisões sistemáticas e estudos abrangentes demonstram que modelos baseados em machine learning e *deep learning* apresentam desempenho promissor na identificação de padrões diagnósticos complexos, muitas vezes imperceptíveis à análise humana isolada (KHANAGAR *et al.*, 2023; KAROBARI *et al.*, 2023; MOHAMMAD-RAHIMI *et al.*, 2024).

A crescente produção científica na área reflete não apenas o interesse acadêmico, mas também a necessidade clínica de soluções que reduzam erros diagnósticos, aumentem a previsibilidade dos tratamentos e minimizem falhas associadas a diagnósticos tardios ou incompletos. Assim, a aplicação da IA no diagnóstico endodôntico deve ser compreendida como parte de um movimento mais amplo de evolução da Odontologia em direção a uma prática baseada em dados, precisão e personalização.

Fundamentos da Inteligência Artificial aplicados ao diagnóstico endodôntico

A Inteligência Artificial engloba um conjunto de técnicas computacionais destinadas a simular processos cognitivos humanos, como aprendizado, reconhecimento de padrões e tomada de decisão. Na Endodontia, as abordagens mais utilizadas são aquelas baseadas em machine learning, com destaque para os modelos de *deep learning*, especialmente as redes neurais convolucionais (CNN), amplamente empregadas na análise de imagens radiográficas.

Esses modelos são treinados a partir de grandes conjuntos de dados previamente anotados, permitindo que o algoritmo aprenda a reconhecer características radiográficas associadas a diferentes condições patológicas. A literatura enfatiza que o desempenho dos sistemas de IA estar diretamente relacionado à qualidade da preparação dos dados, incluindo a padronização das imagens, a correta segmentação das estruturas anatômicas e o balanceamento das classes diagnósticas (MOHAMMAD-RAHIMI *et al.*, 2024).

Estudos de revisão apontam que a aplicação da IA na Endodontia não se restringe a um único tipo de exame ou patologia, mas abrange desde a interpretação de radiografias periapicais até a análise tridimensional de exames de CBCT, reforçando seu caráter versátil e multidimensional (ASIRI; ALTUWALAH, 2022; KHANAGAR *et al.*, 2023).

Limitações do diagnóstico endodôntico convencional e a necessidade de IA

Apesar dos avanços tecnológicos, o diagnóstico endodôntico convencional ainda apresenta limitações relevantes. A radiografia periapical, amplamente utilizada na prática clínica, fornece uma representação bidimensional de estruturas tridimensionais, o que pode resultar em sobreposição anatômica e dificuldade na detecção de alterações sutis, especialmente em estágios iniciais da doença.

Além disso, estudos demonstram elevada variabilidade interobservador na interpretação de imagens radiográficas, mesmo entre profissionais experientes. Essa subjetividade diagnóstica pode levar a erros clínicos, como falha na identificação de lesões periapicais incipientes, canais não tratados ou fraturas radiculares verticais (RAMEZANZADE *et al.*, 2023; KAROBARI *et al.*, 2023).

Nesse cenário, a Inteligência Artificial surge como uma ferramenta de apoio capaz de reduzir a dependência exclusiva da interpretação humana, oferecendo análises padronizadas, reproduzíveis e baseadas em dados. A literatura destaca que a IA não substitui o julgamento clínico do endodontista, mas atua como um sistema auxiliar que amplia a capacidade diagnóstica do profissional (MOHAMMAD-RAHIMI *et al.*, 2024).

Inteligência Artificial na análise de radiografias periapicais

A aplicação da IA na interpretação de radiografias periapicais constitui uma das áreas mais exploradas da Endodontia digital. Diversos estudos demonstram que algoritmos de *deep learning* são capazes de identificar lesões periapicais, alterações ósseas, fraturas radiculares e falhas em tratamentos endodônticos prévios com elevado grau de acurácia.

Revisões sistemáticas indicam que os modelos de IA apresentam desempenho comparável ao de especialistas humanos, com vantagens adicionais relacionadas à consistência da interpretação e à redução do tempo necessário para análise das imagens (KHANAGAR *et al.*, 2023; RAMEZANZADE *et al.*, 2023). Além disso, técnicas de aprimoramento de imagem baseadas em IA têm sido desenvolvidas para aumentar o contraste e a nitidez de estruturas radiculares, favorecendo a detecção de fraturas verticais, uma das condições mais desafiadoras da prática endodôntica (OZSARI *et al.*, 2025).

Esses avanços sugerem que a integração da IA às radiografias periapicais pode representar um importante aliado no diagnóstico precoce e na tomada de decisão clínica, especialmente em casos complexos ou de difícil interpretação.

Aplicações da Inteligência Artificial em CBCT na Endodontia

A tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) revolucionou o diagnóstico endodôntico ao permitir a visualização tridimensional das estruturas dentárias e periapicais. A incorporação da IA à análise de exames de CBCT tem ampliado ainda mais o potencial dessa tecnologia, possibilitando segmentação automática, quantificação volumétrica e identificação precisa de alterações patológicas.

Estudos recentes demonstram que modelos de IA aplicados à CBCT são eficazes na detecção e quantificação de reabsorções radiculares, bem como na análise tridimensional de estruturas complexas do sistema de canais radiculares (HUANG *et al.*, 2025; PIRAYESH *et al.*, 2024). Essas abordagens permitem não apenas o diagnóstico mais preciso, mas também o acompanhamento longitudinal das alterações estruturais ao longo do tempo.

A literatura ressalta que a análise automatizada de exames de CBCT por meio da IA pode reduzir a carga cognitiva do profissional e minimizar erros associados à interpretação manual de grandes volumes de imagens, contribuindo para diagnósticos mais rápidos e confiáveis.

Inteligência Artificial na avaliação da morfologia e anatomia dos canais radiculares

A complexidade anatômica do sistema de canais radiculares representa um dos principais desafios da Endodontia. A presença de canais acessórios, configurações em C, variações no número e na morfologia dos canais e a ocorrência de canais não tratados são fatores frequentemente associados ao insucesso endodôntico.

A literatura recente evidencia crescimento significativo das pesquisas envolvendo IA aplicada à morfologia dos canais radiculares. Análises bibliométricas demonstram que os modelos de IA têm sido utilizados para mapear padrões anatômicos, identificar canais adicionais e reduzir a taxa de falhas associadas à anatomia complexa (HASSAN *et al.*, 2025). Esses achados reforçam o potencial da IA como ferramenta complementar na identificação de variações anatômicas que poderiam passar despercebidas na avaliação convencional.

Diagnóstico de reabsorções e fraturas radiculares assistido por IA

O diagnóstico de reabsorções radiculares, sejam internas ou externas, assim como a identificação de fraturas radiculares verticais, constitui um desafio clínico significativo. A diferenciação entre essas condições é fundamental para o planejamento do tratamento e para a definição do prognóstico do dente afetado.

Modelos de *deep learning* aplicados a radiografias periapicais e exames de CBCT têm demonstrado elevada eficiência na detecção dessas alterações, com desempenho superior aos métodos convencionais em diversos estudos (PIRAYESH *et al.*, 2024; OZSARI *et al.*, 2025). Abordagens hierárquicas baseadas em IA permitem identificar padrões específicos associados a diferentes tipos de reabsorção, favorecendo o diagnóstico diferencial e a tomada de decisão clínica.

Desempenho diagnóstico e validade clínica dos modelos de IA

Avaliações quantitativas do desempenho dos modelos de IA em Endodontia indicam altos índices de sensibilidade, especificidade e acurácia, especialmente em aplicações relacionadas à análise de imagens odontológicas. Revisões abrangentes e estudos comparativos demonstram que esses sistemas apresentam

resultados consistentes, embora ainda existam desafios relacionados à generalização clínica e à variabilidade dos conjuntos de dados utilizados no treinamento dos modelos (KAROBARI *et al.*, 2023; CARVALHO *et al.*, 2024).

A literatura enfatiza a necessidade de validação externa e estudos multicêntricos para garantir a aplicabilidade clínica dos sistemas de IA em diferentes populações e contextos clínicos.

Limitações, desafios metodológicos e considerações éticas

Apesar do potencial significativo, a aplicação da IA no diagnóstico endodôntico enfrenta limitações importantes. Entre os principais desafios destacam-se a dependência da qualidade dos bancos de dados, o risco de *overfitting*, a presença de vieses populacionais e a dificuldade de generalização dos modelos treinados em ambientes controlados para a prática clínica real.

Além disso, questões éticas relacionadas à transparência dos algoritmos, responsabilidade profissional e segurança dos dados dos pacientes devem ser cuidadosamente consideradas. A literatura ressalta que a IA deve ser utilizada como ferramenta de apoio à decisão clínica, mantendo o cirurgião-dentista como responsável final pelo diagnóstico e pelo plano de tratamento (ASIRI; ALTUWALAH, 2022; MOHAMMAD-RAHIMI *et al.*, 2024).

Perspectivas futuras da IA no diagnóstico endodôntico

As perspectivas futuras da Inteligência Artificial na Endodontia incluem a integração em tempo real com sistemas de imagem, microscopia operatória, prontuários eletrônicos e fluxos digitais de tratamento. O avanço contínuo dos algoritmos, aliado à expansão de bases de dados multicêntricas e à padronização metodológica, tende a ampliar a robustez e a aplicabilidade clínica dessas tecnologias.

A IA desponta como um componente essencial de uma Endodontia mais precisa, preditiva e personalizada, contribuindo para melhores desfechos clínicos e para a evolução da prática profissional.

Conclusão

A aplicação da Inteligência Artificial no diagnóstico endodôntico representa um avanço significativo na Odontologia contemporânea. Evidências científicas demonstram que os sistemas de IA possuem elevado potencial para superar limitações dos métodos convencionais, aumentar a acurácia diagnóstica e apoiar o cirurgião-dentista em decisões clínicas complexas. No entanto, sua implementação deve ser acompanhada de validação científica rigorosa, considerações éticas e capacitação profissional contínua, garantindo que essas tecnologias sejam utilizadas de forma segura, crítica e responsável.

REFERÊNCIAS

- ASIRI, A. F.; ALTUWALAH, A. S. The role of neural artificial intelligence for diagnosis and treatment planning in endodontics: a qualitative review. **Saudi Dental Journal**, v. 34, n. 4, p. 270–281, 2022. DOI: 10.1016/j.sdentj.2022.04.004.
- CARVALHO, B. K. G.; NOLDEN, E. L.; WENNING, A. S.; KISS-DALA, S.; AGÓCS, G.; RÓTH, I.; KERÉMI, B.; GÉCZI, Z.; HEGYI, P.; KIVOVICS, M. Diagnostic accuracy of artificial intelligence for approximal caries on bitewing radiographs: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Dentistry**, v. 151, p. 105388, 2024. DOI: 10.1016/j.jdent.2024.105388.
- HASSAN, W.; MEHTA, V.; SINGDHA, N. T.; KAROBARI, M. I. AI in root canal morphology: a detailed bibliometric analysis of research trends and global contributions. **Clinical and Experimental Dental Research**, v. 11, n. 6, e70269, 2025. DOI: 10.1002/cre2.70269.
- HUANG, J.; WANG, M.; TANG, X.; ZHENG, L.; YANG, C. Three-dimensional partitioning and quantification of orthodontic root resorption via automatic root extraction from cone-beam computed tomography. **BMC Oral Health**, v. 25, n. 1, p. 348, 2025. DOI: 10.1186/s12903-025-05706-y.
- KAROBARI, M. I.; ADIL, A. H.; BASHEER, S. N.; MURUGESAN, S.; SAVADAMOORTHY, K. S.; MUSTAFA, M.; ABDULWAHED, A.; ALMOKHATIEB, A. A. Evaluation of the diagnostic and prognostic accuracy of artificial intelligence in endodontic dentistry: a comprehensive review of literature. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2023, art. 7049360, 2023. DOI: 10.1155/2023/7049360.
- KHANAGAR, S. B.; ALFADLEY, A.; ALFOUZAN, K.; AWAWDEH, M.; ALAQLA, A.; JAMLEH, A. Developments and performance of artificial intelligence models designed for application in endodontics: a systematic review. **Diagnostics**, v. 13, n. 3, p. 414, 2023. DOI: 10.3390/diagnostics13030414.
- MOHAMMAD-RAHIMI, H.; SOHRABNIYA, F.; OURANG, S. A.; DIANAT, O.; AMINOSHARIAE, A.; NAGENDRABABU, V.; DUMMER, P. M. H.; DUNCAN, H. F.; NOSRAT, A. Artificial intelligence in endodontics: data preparation, clinical applications, ethical considerations, limitations, and future directions. **International Endodontic Journal**, v. 57, n. 11, p. 1566–1595, 2024. DOI: 10.1111/iej.14128.
- NEGI, S.; MATHUR, A.; TRIPATHY, S.; MEHTA, V.; SNIGDHA, N. T.; ADIL, A. H.; KAROBARI, M. I. Artificial intelligence in dental caries diagnosis and detection: an umbrella review. **Clinical and Experimental Dental Research**, v. 10, n. 4, e70004, 2024. DOI: 10.1002/cre2.70004.
- OZSARI, S.; KAMBUROĞLU, K.; TAMSE, A.; YENER, S. E.; TESIS, I.; YILMAZ, F.; ROSEN, E. Automatic vertical root fracture detection on intraoral periapical radiographs with artificial intelligence-based image enhancement. **Dental Traumatology**, v. 41, n. 3, p. 348–362, 2025. DOI: 10.1111/edt.13027.
- PIRAYESH, Z.; MOHAMMAD-RAHIMI, H.; MOTAMEDIAN, S. R.; AMINI AFSHAR, S.; ABBASI, R.; ROHBAN, M. H.; MAHDIAN, M.; GHAZIZADEH AHSAIE, M.; IRANPARVAR ALAMDARI, M. A hierarchical deep learning approach for diagnosing impacted canine-induced root resorption via cone-beam computed tomography. **BMC Oral Health**, v. 24, n. 1, p. 982, 2024. DOI: 10.1186/s12903-024-04718-4.
- RAMEZANZADE, S.; LAURENTIU, T.; BAKHSHANDAH, A.; IBRAGIMOV, B.; KVIST, T.; BJØRNDAL, L. The efficiency of artificial intelligence methods for finding radiographic features in different endodontic treatments: a systematic review. **Acta Odontologica Scandinavica**, v. 81, n. 6, p. 422–435, 2023. DOI: 10.1080/00016357.2022.2158929.
- SHEETTY, S.; GALI, S.; AUGUSTINE, D.; SV, S. Artificial intelligence systems in dental shade-matching: a systematic review. **Journal of Prosthodontics**, v. 33, n. 6, p. 519–532, 2024. DOI: 10.1111/jopr.13805.
- TIWARI, A.; GUPTA, N.; SINGLA, D.; RANJAN SWAIN, J.; GUPTA, R.; MEHTA, D.; KUMAR, S. Artificial intelligence's use in the diagnosis of mouth ulcers: a systematic review. **Cureus**, v. 15, n. 9, e45187, 2023. DOI: 10.7759/cureus.45187.

2

Planejamento Cirúrgico Digital na Extração de Terceiros Molares Impactados: Tecnologias Atuais e Aplicações Clínicas

Camila Roberta Nepomuceno Atripoli¹

Ronam Henrique Pegoraro²

Camila Cunha do Nascimento³

Ana Paula Silva Ferreira⁴

Camila Cunha do Nascimento Bernal⁵

Patricia Morgana Hordonho Santillo⁶

Henrique Galvao de Zuniga Honorato⁷

Diogo Martins de Freitas⁸

Lara Caroline da Silva Martins⁹

José Augusto Pinheiro Sperandio¹⁰

 **10.29327/5798835.1-2**

1 Especialista em Odontologia - São Leopoldo Mandic

2 Especialista em Implantodontia - Centro Universitário Ingá (UNINGÁ)

3 Especialista em Implantodontia - Associação Paulista de Cirurgiões-Dentistas (APCD Central), São Paulo

4 Especialista em Harmonização Orofacial - Faculdade Unyleya

5 Especialista em Implantodontia - Associação Paulista de Cirurgiões-Dentistas (APCD Central), São Paulo

6 Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Odontologia de Pernambuco - Universidade de Pernambuco- FOP-UPE

7 Mestre em Data Analytics with Big Data in Healthcare - University of the Potomac

8 Especialista em Implantodontia - Centro Universitário UniDomBosco (UniDBSCO)

9 Especialista em Implantodontia - Centro Universitário de Jales (UNIJALES)

10 Doutor em Odontologia Restauradora - Universidade Estadual de Londrina



Introdução

A remoção cirúrgica dos terceiros molares impactados é um dos procedimentos mais frequentemente realizados na prática da cirurgia bucomaxilofacial. Apesar de sua rotina clínica, trata-se de uma intervenção que pode apresentar diferentes graus de complexidade, especialmente em situações de proximidade com o canal mandibular, impatações profundas ou posições atípicas. Complicações como lesão do nervo alveolar inferior, fratura mandibular, infecção, alveolite e dificuldades transoperatórias continuam sendo preocupações relevantes, reforçando a importância de um planejamento cirúrgico preciso e individualizado (Mubarak *et al.*, 2024).

Tradicionalmente, a avaliação pré-operatória baseia-se em radiografias panorâmicas, que fornecem uma visão bidimensional das estruturas anatômicas. No entanto, essa modalidade apresenta limitações importantes na análise da relação tridimensional entre as raízes dos terceiros molares e o canal mandibular. Estudos comparativos demonstraram que a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) oferece maior acurácia na identificação dessa relação anatômica, permitindo melhor estimativa do risco neurosensorial e maior previsibilidade do procedimento cirúrgico (Patel *et al.*, 2020; Mubarak *et al.*, 2024).

O avanço da CBCT possibilitou a incorporação do planejamento cirúrgico digital, que inclui a reconstrução tridimensional das estruturas anatômicas, análise volumétrica e simulação virtual do procedimento. A reconstrução 3D permite avaliar com maior precisão a posição do dente impactado, a espessura óssea circundante, a morfologia radicular e a proximidade com estruturas nobres, contribuindo para a definição da abordagem cirúrgica mais segura e minimamente invasiva (Tagliatesta *et al.*, 2025). Em casos complexos, como terceiros molares ectópicos ou em posições incomuns, a visualização tridimensional auxilia na escolha do acesso cirúrgico e na redução do trauma tecidual (Liu *et al.*, 2023).

Além da análise tridimensional, o planejamento virtual tem sido cada vez mais utilizado para simular diferentes estratégias cirúrgicas antes da intervenção. Essa abordagem permite prever a necessidade de osteotomia, odontosecção e até mesmo técnicas alternativas em situações de maior risco anatômico, contribuindo para maior segurança operatória e melhor controle do procedimento (Brito *et al.*, 2025).

Outro avanço significativo é a integração de algoritmos de inteligência artificial na análise de imagens tomográficas. Modelos baseados em *deep learning* têm demonstrado capacidade de identificar automaticamente a relação entre as raízes dos terceiros molares e o canal mandibular, auxiliando na avaliação do risco de lesão neurosensorial e na tomada de decisão clínica (Ünal; Namdar Pekiner, 2025).

O fluxo digital também inclui a fabricação de guias cirúrgicos personalizados por meio de impressão tridimensional. Esses dispositivos permitem a orientação precisa da osteotomia e da odontosecção, reduzindo o tempo cirúrgico, o trauma tecidual e a variabilidade operatória. Estudos recentes demonstraram resultados promissores com o uso de guias impressos em diferentes materiais, incluindo titânio, especialmente em casos de terceiros molares horizontais ou profundamente impactados (Qi *et al.*, 2023; Zeng *et al.*, 2023).

Tecnologias mais avançadas, como sistemas de navegação dinâmica em

tempo real, também têm sido investigadas. Ensaios clínicos prospectivos indicam que a navegação dinâmica pode aumentar a precisão do procedimento e reduzir complicações em extrações de terceiros molares de alta complexidade (Fangfang *et al.*, 2024).

Paralelamente, novas abordagens, como cirurgia assistida por endoscopia e procedimentos robotizados, começam a ser descritas na literatura, representando um avanço em direção à cirurgia minimamente invasiva e altamente controlada (Liu *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, o planejamento cirúrgico digital representa uma mudança significativa no manejo dos terceiros molares impactados, promovendo maior previsibilidade, segurança e personalização do tratamento. O objetivo deste capítulo é apresentar os princípios, tecnologias disponíveis e aplicações clínicas do fluxo digital na cirurgia de terceiros molares, abordando desde a aquisição e análise tridimensional das imagens até o uso de inteligência artificial, guias cirúrgicos, navegação dinâmica e tecnologias emergentes.

Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CBCT) como Base do Planejamento Cirúrgico Digital

A tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) representa o principal recurso diagnóstico para o planejamento cirúrgico digital em casos de terceiros molares impactados. Diferentemente das radiografias convencionais bidimensionais, a CBCT permite a avaliação tridimensional das estruturas anatômicas, possibilitando análise mais precisa da posição dentária, da morfologia radicular e da relação com estruturas nobres, especialmente o canal mandibular.

A limitação das radiografias panorâmicas está relacionada à sobreposição de estruturas, distorções geométricas e ausência de informações no sentido véstibulo-lingual. Essas restrições podem comprometer a estimativa da proximidade entre as raízes do terceiro molar e o nervo alveolar inferior, aumentando a incerteza diagnóstica e o risco de complicações neurossensoriais. Estudos comparativos demonstram que a CBCT apresenta maior sensibilidade e especificidade na avaliação dessa relação anatômica, sendo particularmente indicada em casos com sinais radiográficos sugestivos de íntimo contato na panorâmica (Patel *et al.*, 2020).

Além da avaliação do risco neurológico, a CBCT contribui para a estimativa da dificuldade cirúrgica. A análise tridimensional permite avaliar fatores como profundidade de inclusão, angulação dentária, densidade óssea e espessura das corticais, elementos que influenciam diretamente no tempo operatório, na necessidade de osteotomia e odontosecção e no potencial de complicações transoperatórias. Nesse contexto, Mubarak *et al.* (2024) demonstraram que a tomografia tridimensional oferece maior acurácia na predição da complexidade cirúrgica quando comparada à ortopantomografia.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de visualização multiplanar, por meio de cortes axiais, coronais e sagitais. Essa abordagem permite identificar detalhes anatômicos que não são perceptíveis em exames bidimensionais, como a presença de curvaturas radiculares, reabsorções, fenestrações ósseas e variações na trajetória do canal mandibular. Essas informações são fundamentais para a

definição da abordagem cirúrgica mais conservadora e segura.

A partir dos dados obtidos na CBCT, torna-se possível a reconstrução tridimensional das estruturas anatômicas, etapa essencial do fluxo digital. A segmentação do dente impactado e do canal mandibular permite uma visualização volumétrica da área cirúrgica, facilitando o planejamento virtual e a simulação do procedimento (Tagliatesta *et al.*, 2025).

Em situações de maior complexidade, como terceiros molares ectópicos ou localizados em regiões anatômicas incomuns, a análise tridimensional pode ser determinante para a escolha do acesso cirúrgico e para a redução do trauma operatório. Liu *et al.* (2023) demonstraram que o planejamento baseado em imagem tridimensional possibilita abordagens intraorais mais conservadoras e previsíveis, mesmo em casos de localização atípica.

Dessa forma, a CBCT constitui a base do planejamento cirúrgico digital, fornecendo informações detalhadas que permitem avaliação precisa do risco, estimativa da dificuldade operatória e individualização da estratégia cirúrgica. Sua integração com softwares de reconstrução tridimensional e plataformas de planejamento virtual representa o primeiro passo para a aplicação de tecnologias avançadas na cirurgia de terceiros molares.

Reconstrução Tridimensional e Análise Anatômica Digital

A reconstrução tridimensional a partir de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico representa uma etapa fundamental no fluxo de planejamento cirúrgico digital. Após a aquisição das imagens em formato DICOM, os dados são importados para softwares específicos que permitem a visualização volumétrica e a análise detalhada das estruturas anatômicas envolvidas.

Diferentemente da simples avaliação multiplanar, a reconstrução tridimensional possibilita a visualização espacial do terceiro molar impactado em relação às estruturas adjacentes, como o canal mandibular, as corticais ósseas e os dentes vizinhos. Esse recurso permite melhor compreensão da anatomia local, especialmente em casos de impatações profundas, angulações acentuadas ou proximidade crítica com estruturas nobres.

A etapa de segmentação digital constitui um dos principais recursos desse processo. Por meio dela, é possível isolar virtualmente o dente impactado e o canal mandibular, permitindo a análise da relação tridimensional entre as raízes e o feixe vaso-nervoso. Essa abordagem facilita a identificação de pontos de contato, áreas de risco e trajetórias anatômicas que podem influenciar diretamente a estratégia cirúrgica (Tagliatesta *et al.*, 2025).

Além da avaliação da relação com o nervo alveolar inferior, a reconstrução volumétrica permite analisar outros fatores relevantes para o planejamento, como a espessura das corticais vestibular e lingual, a densidade óssea local, a morfologia radicular e a profundidade de inclusão. Essas informações contribuem para a previsão da necessidade de osteotomia, odontosecção e escolha do acesso cirúrgico mais adequado.

A visualização tridimensional também desempenha papel importante na comunicação clínica. A representação volumétrica da área cirúrgica facilita a explicação do procedimento ao paciente, contribuindo para melhor compreensão

dos riscos e do plano terapêutico proposto.

Em situações de maior complexidade, como terceiros molares ectópicos ou localizados em regiões anatômicas atípicas, a reconstrução tridimensional pode ser determinante para o sucesso do tratamento. Liu *et al.* (2023) demonstraram que o planejamento baseado em imagem tridimensional permitiu a definição precisa do trajeto cirúrgico e a realização de abordagens intraorais minimamente invasivas em casos de localização incomum na região subcondilar.

Além disso, a reconstrução tridimensional constitui a base para etapas subsequentes do fluxo digital, incluindo a simulação virtual do procedimento, a confecção de guias cirúrgicos personalizados e a integração com sistemas de navegação dinâmica. Dessa forma, a análise volumétrica não apenas melhora a avaliação diagnóstica, mas também possibilita a transição para um modelo de cirurgia personalizada e orientada por tecnologia.

A incorporação rotineira da reconstrução tridimensional no planejamento dos terceiros molares representa, portanto, um avanço significativo em direção a procedimentos mais seguros, previsíveis e conservadores.

Inteligência Artificial na Avaliação de Risco e no Planejamento Cirúrgico

A incorporação da inteligência artificial (IA) na odontologia tem promovido avanços significativos na análise de imagens radiográficas e tomográficas, contribuindo para maior precisão diagnóstica e apoio à tomada de decisão clínica. No contexto da cirurgia de terceiros molares impactados, algoritmos baseados em aprendizado de máquina e *deep learning* têm sido aplicados principalmente na interpretação de exames de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e na avaliação automatizada de estruturas anatômicas críticas.

Uma das principais aplicações da IA nessa área é a identificação automática do canal mandibular e a análise da relação entre o feixe vaso-nervoso e as raízes dos terceiros molares. Essa etapa é fundamental para a avaliação do risco de lesão do nervo alveolar inferior, uma das complicações mais relevantes associadas à exodontia de terceiros molares. Modelos de redes neurais convolucionais demonstram elevada acurácia na segmentação dessas estruturas, reduzindo a variabilidade interobservador e aumentando a confiabilidade da análise (Ünal; Namdar Pekiner, 2025).

Além da segmentação anatômica, sistemas baseados em IA têm sido utilizados para classificar automaticamente o grau de proximidade entre o dente impactado e o canal mandibular, auxiliando na estratificação do risco neurosensorial. Essa abordagem permite a identificação precoce de casos de maior complexidade, nos quais podem ser consideradas alternativas terapêuticas, como técnicas cirúrgicas conservadoras, coronectomia ou encaminhamento para serviços especializados.

Outro benefício potencial da inteligência artificial é a automação de etapas do fluxo de planejamento digital. A análise automatizada das imagens tomográficas pode acelerar o processo diagnóstico, reduzindo o tempo necessário para avaliação manual e facilitando a integração com softwares de reconstrução tridimensional e planejamento virtual.

A utilização de IA também contribui para a padronização das avaliações radiográficas, minimizando erros relacionados à interpretação subjetiva e à experiência do profissional. Em ambientes de alta demanda clínica ou em serviços de formação, essa tecnologia pode atuar como ferramenta de apoio à decisão, aumentando a segurança e a previsibilidade dos procedimentos cirúrgicos.

Embora os resultados iniciais sejam promissores, a aplicação clínica ampla da inteligência artificial ainda enfrenta desafios, como a necessidade de bases de dados extensas e bem estruturadas, validação externa dos modelos e integração com sistemas clínicos e fluxos de trabalho existentes. Além disso, aspectos éticos e regulatórios relacionados ao uso de algoritmos na prática clínica devem ser considerados.

Apesar dessas limitações, a tendência é que a inteligência artificial desempenhe papel cada vez mais relevante no planejamento cirúrgico digital, contribuindo para uma abordagem mais precisa, individualizada e orientada por dados na cirurgia de terceiros molares.

Planejamento Virtual e Simulação Cirúrgica

O planejamento virtual representa uma das etapas mais importantes do fluxo digital na cirurgia de terceiros molares, permitindo a simulação pré-operatória do procedimento com base em dados tridimensionais obtidos por tomografia computadorizada de feixe cônico. Essa abordagem possibilita a análise detalhada da anatomia local e a antecipação de etapas cirúrgicas críticas, contribuindo para maior previsibilidade, segurança e eficiência operatória.

Após a reconstrução tridimensional das estruturas anatômicas, os arquivos tomográficos são importados para plataformas de planejamento que permitem a manipulação interativa do modelo digital. Nesses ambientes virtuais, o cirurgião pode avaliar diferentes ângulos de visualização, identificar áreas de risco e simular a estratégia cirúrgica mais adequada para cada caso.

A simulação permite prever a necessidade e a extensão da osteotomia, bem como o planejamento da odontosecção em situações de impatações profundas ou angulações desfavoráveis. A definição prévia dessas etapas reduz a improvisação intraoperatória, favorecendo abordagens mais conservadoras e minimamente invasivas. Além disso, a possibilidade de visualizar a relação espacial entre o dente, o canal mandibular e as corticais ósseas auxilia na escolha do trajeto cirúrgico que minimize o risco de lesão neurosensorial.

Outro aspecto relevante do planejamento virtual é a estimativa da dificuldade cirúrgica. A análise integrada de fatores como profundidade de inclusão, orientação dentária, morfologia radicular e densidade óssea permite ao profissional antecipar o tempo operatório, a complexidade do procedimento e a necessidade de recursos adicionais, contribuindo para melhor organização do ato cirúrgico e redução de intercorrências.

Em casos de maior complexidade, o planejamento virtual pode auxiliar na definição de abordagens alternativas ou técnicas complementares. Brito *et al.* (2025) demonstraram a aplicação do planejamento cirúrgico virtual no manejo de terceiros molares associados a situações anatômicas desafiadoras, permitindo a definição precisa da estratégia operatória e a execução do procedimento

com maior segurança.

Além dos benefícios técnicos, o planejamento virtual também contribui para a comunicação clínica. A visualização tridimensional do procedimento facilita a explicação ao paciente, melhorando a compreensão dos riscos, das etapas cirúrgicas e dos resultados esperados, o que pode favorecer a adesão ao tratamento e a obtenção do consentimento informado.

Outra vantagem significativa é a integração dessa etapa com tecnologias subsequentes do fluxo digital, como a confecção de guias cirúrgicos personalizados e a utilização de sistemas de navegação dinâmica. Dessa forma, o planejamento virtual não apenas orienta a execução do procedimento, mas também constitui a base para a transposição precisa do plano digital para o ambiente clínico.

Assim, a simulação cirúrgica virtual representa um avanço importante na cirurgia de terceiros molares, promovendo maior controle do procedimento, redução da variabilidade operatória e transição para um modelo de tratamento personalizado e orientado por tecnologia.

Guias Cirúrgicos Personalizados e Impressão Tridimensional

A confecção de guias cirúrgicos personalizados por meio de impressão tridimensional representa uma das aplicações mais relevantes do planejamento digital na cirurgia de terceiros molares. Essa tecnologia permite a transferência precisa do planejamento virtual para o ambiente clínico, reduzindo a variabilidade operatória e aumentando a previsibilidade do procedimento.

O processo tem início com a aquisição das imagens por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico, seguida pela reconstrução tridimensional e pela segmentação das estruturas anatômicas. A partir desse modelo digital, é realizado o planejamento da osteotomia e da odontosecção, definindo-se a posição, a angulação e a profundidade das intervenções necessárias. Posteriormente, o guia cirúrgico é projetado em ambiente virtual e exportado em formato STL para fabricação por impressão tridimensional.

Os guias cirúrgicos podem ser utilizados para orientar diferentes etapas do procedimento, incluindo o acesso ósseo, a delimitação da área de osteotomia e a direção da odontosecção. Essa orientação física permite maior controle intraoperatório, reduzindo o risco de remoção óssea excessiva, trauma tecidual e exposição inadvertida de estruturas anatômicas nobres.

Estudos recentes têm demonstrado resultados promissores com o uso dessa tecnologia. Qi *et al.* (2023) avaliaram a aplicação de guias cirúrgicos personalizados confeccionados em titânio para a extração de terceiros molares mandibulares horizontalmente impactados, observando maior precisão operatória, redução do tempo cirúrgico e menor trauma em comparação às técnicas convencionais. Esses achados reforçam o potencial da cirurgia guiada como estratégia para casos de maior complexidade.

Além da orientação do acesso ósseo, sistemas específicos têm sido desenvolvidos para a odontosecção guiada. Zeng *et al.* (2023) descreveram um sistema digital inovador para direcionamento preciso da secção dentária durante a extração de terceiros molares mandibulares. Os resultados do estudo *in vitro* de-

monstraram elevada acurácia na execução da odontosecção, sugerindo que essa abordagem pode reduzir o risco de fraturas radiculares indesejadas e minimizar a manipulação cirúrgica.

A impressão tridimensional também tem sido utilizada para a confecção de modelos anatômicos e réplicas personalizadas, permitindo treinamento pré-operatório e simulação física do procedimento. Essa estratégia contribui para o aprimoramento da técnica cirúrgica, especialmente em situações de anatomia complexa ou proximidade crítica com o canal mandibular (Zhang *et al.*, 2022; Barraco *et al.*, 2025).

Entre as principais vantagens dos guias cirúrgicos personalizados destacam-se a maior previsibilidade do procedimento, a redução do tempo operatório, a diminuição do trauma cirúrgico e a maior segurança em relação às estruturas anatômicas adjacentes. Além disso, a padronização das etapas operatórias contribui para a redução da variabilidade entre profissionais e para melhores resultados clínicos.

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas, incluindo o custo adicional associado à fabricação dos guias, o tempo necessário para o planejamento e produção, e a necessidade de treinamento específico para o uso adequado dessa tecnologia. Apesar desses desafios, a tendência é que a cirurgia guiada se torne cada vez mais acessível e integrada à prática clínica, especialmente em casos complexos ou de alto risco.

Dessa forma, os guias cirúrgicos personalizados e a impressão tridimensional representam um avanço significativo na cirurgia de terceiros molares, permitindo a execução de procedimentos mais precisos, seguros e alinhados aos princípios da odontologia personalizada e minimamente invasiva.

Navegação Dinâmica em Tempo Real e Tecnologias Emergentes

O avanço do planejamento cirúrgico digital tem possibilitado a incorporação de tecnologias que permitem não apenas o planejamento pré-operatório, mas também o controle e a orientação do procedimento em tempo real. Entre essas inovações, destacam-se os sistemas de navegação dinâmica, a cirurgia assistida por endoscopia e as aplicações emergentes da robótica na cirurgia oral.

A navegação dinâmica consiste em um sistema de rastreamento que integra os dados do planejamento tomográfico tridimensional com a posição dos instrumentos cirúrgicos durante o procedimento. Por meio de sensores e softwares específicos, o cirurgião pode visualizar em tempo real a localização da ponta do instrumento em relação às estruturas anatômicas do paciente, com base nas imagens de CBCT previamente adquiridas. Essa tecnologia permite maior precisão na execução da osteotomia e da odontosecção, especialmente em casos de terceiros molares profundamente impactados ou em íntima relação com o canal mandibular.

Um estudo prospectivo randomizado conduzido por Fangfang *et al.* (2024) avaliou a eficácia da navegação dinâmica em extrações de terceiros molares mandibulares profundamente horizontais, demonstrando maior precisão operatória, redução do tempo cirúrgico e menor trauma tecidual quando comparado às técnicas convencionais. Esses resultados reforçam o potencial da navegação em tempo real como ferramenta para aumentar a segurança e a previsibilidade em procedimentos de alta complexidade.

Outra tecnologia emergente é a cirurgia assistida por endoscopia, que permite a visualização direta do campo operatório em áreas de difícil acesso. Associada ao planejamento tridimensional, essa abordagem possibilita procedimentos mais conservadores e minimamente invasivos. Liu *et al.* (2023) descreveram o uso de extração intraoral guiada por endoscopia em um caso de terceiro molar ectópico na região subcondilar, evidenciando a importância da integração entre imagem tridimensional e técnicas de visualização ampliada para o manejo seguro de casos atípicos.

Mais recentemente, a aplicação de sistemas robóticos na cirurgia oral tem sido explorada como parte da evolução da cirurgia digital. Liu *et al.* (2025) relataram a utilização de tecnologia robótica na autotransplantação de terceiros molares, demonstrando elevada precisão na execução das etapas cirúrgicas e redução da variabilidade operatória. Embora ainda em fase inicial de aplicação clínica, a cirurgia assistida por robótica representa uma perspectiva promissora para procedimentos altamente controlados e personalizados.

Essas tecnologias refletem a transição da cirurgia convencional para um modelo de intervenção guiada por dados, no qual o planejamento digital, a orientação intraoperatória e a execução assistida por dispositivos avançados atuam de forma integrada. No entanto, fatores como custo, disponibilidade tecnológica e necessidade de treinamento especializado ainda limitam a adoção ampla dessas ferramentas na prática clínica.

Apesar dessas limitações, a tendência é que sistemas de navegação, visualização avançada e automação cirúrgica se tornem progressivamente mais acessíveis, contribuindo para procedimentos mais seguros, previsíveis e alinhados aos princípios da cirurgia minimamente invasiva e da odontologia de precisão.

Conclusão

O planejamento cirúrgico digital representa uma transformação significativa no manejo dos terceiros molares impactados, promovendo maior precisão diagnóstica, previsibilidade operatória e segurança clínica. A incorporação da tomografia computadorizada de feixe cônico como base diagnóstica permitiu a análise tridimensional detalhada das estruturas anatômicas, superando as limitações das técnicas bidimensionais e possibilitando uma avaliação mais confiável do risco cirúrgico.

A reconstrução tridimensional e a análise volumétrica proporcionaram melhor compreensão da anatomia local e permitiram o desenvolvimento do planejamento virtual, etapa essencial para a simulação pré-operatória e definição da estratégia cirúrgica. A integração de ferramentas de inteligência artificial tem ampliado ainda mais a precisão da avaliação radiográfica, especialmente na identificação da relação entre os terceiros molares e o canal mandibular, contribuindo para a tomada de decisão clínica baseada em dados.

O avanço do fluxo digital também possibilitou a aplicação de guias cirúrgicos personalizados e tecnologias de impressão tridimensional, que permitem a transferência precisa do planejamento virtual para o ambiente clínico. Essas ferramentas têm demonstrado potencial para reduzir o tempo operatório, minimizar o trauma cirúrgico e aumentar a previsibilidade dos resultados.

Além disso, tecnologias emergentes, como sistemas de navegação dinâmica, cirurgia assistida por endoscopia e aplicações robóticas, representam uma evolução no controle intraoperatório e na execução de procedimentos complexos. Embora ainda existam desafios relacionados ao custo, à curva de aprendizado e à disponibilidade tecnológica, essas inovações indicam uma tendência clara em direção à cirurgia personalizada, minimamente invasiva e orientada por tecnologia.

Diante desse cenário, o planejamento cirúrgico digital consolida-se como um componente fundamental da prática contemporânea em cirurgia bucomaxilofacial. Sua adoção progressiva tem o potencial de melhorar os resultados clínicos, reduzir complicações e elevar os padrões de segurança e qualidade no tratamento dos terceiros molares impactados. A contínua evolução das tecnologias digitais e sua integração à prática clínica reforçam a perspectiva de uma odontologia cada vez mais precisa, preditiva e centrada no paciente.

REFERÊNCIAS

- BARRACO, A. et al. Treatment by preplanned virtual autotransplantation of a microdont immature third molar to a maxillary central incisor socket using a 3D printed tooth replica: a case report. **Dental Traumatology**, v. 41, n. 4, p. 484–491, 2025. DOI: 10.1111/edt.13044.
- BRITO, G. C. et al. Virtual surgical planning-assisted mandibular sagittal split osteotomy for complex third molar extraction. **Journal of Craniofacial Surgery**, 2025. DOI: 10.1097/SCS.00000000000011800.
- FANGFANG, X. et al. A prospective randomized study on the efficacy of real-time dynamic navigation in deep horizontal mandibular third molar extractions. **BMC Oral Health**, v. 24, n. 1, p. 1234, 2024. DOI: 10.1186/s12903-024-05016-9.
- LIU, G. et al. Endoscopy-guided intraoral extraction of ectopic mandibular third molar in the subcondylar region planned with three-dimensional imaging: a case report and literature review. **Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 124, n. 6, Suppl 2, p. 101580, 2023. DOI: 10.1016/j.jormas.2023.101580.
- LIU, Y. et al. Robot-assisted autotransplantation of third molars in the maxilla: two case reports. **Frontiers in Oral Health**, v. 6, 2025. DOI: 10.3389/froh.2025.1661873.
- MUBARAK, H. et al. Impacted mandibular third molars: a comparison of orthopantomography and cone-beam computed tomography imaging in predicting surgical difficulty. **Archives of Craniofacial Surgery**, v. 25, n. 5, p. 217–223, 2024. DOI: 10.7181/acfs.2024.00297.
- PATEL, P. S. et al. Comparison of panoramic radiograph and cone beam computed tomography findings for impacted mandibular third molar root and inferior alveolar nerve canal relation. **Indian Journal of Dental Research**, v. 31, n. 1, p. 91–102, 2020. DOI: 10.4103/ijdr.IJDR_540_18.
- QI, W. et al. 3D-printed titanium surgical guides for extraction of horizontally impacted lower third molars. **Clinical Oral Investigations**, v. 27, n. 4, p. 1499–1507, 2023. DOI: 10.1007/s00784-022-04769-3.
- ROSA, A. L.; FERRAZ, E. P. Grand challenges in oral surgery. **Frontiers in Oral Health**, v. 1, p. 5, 2020. DOI: 10.3389/froh.2020.00005.
- TAGLIATESTA, L. et al. Three-dimensional reconstruction of cone beam CT scan in the planning of the surgery of mandibular impacted third molars. **National Journal of Maxillofacial Surgery**, v. 16, n. 1, p. 33–38, 2025. DOI: 10.4103/njms.njms_135_22.
- ÜNAL, S. Y.; NAMDAR PEKINER, F. Evaluation of the mandibular canal and the third mandibular molar relationship by CBCT with a deep learning approach. **Oral Radiology**, v. 41, n. 2, p. 222–230, 2025. DOI: 10.1007/s11282-024-00793-z.
- ZHANG, H. et al. Combined application of virtual simulation technology and three-dimensional printed computer-aided rapid prototyping in autotransplantation of a mature third molar. **Medi-**

cina (Kaunas), v. 58, n. 7, p. 953, 2022. DOI: 10.3390/medicina58070953.

ZENG, J. et al. Research on a novel digital tooth sectioning guide system for tooth sectioning during mandibular third molar extraction: an in vitro study. **Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 124, n. 1S, p. 101383, 2023. DOI: 10.1016/j.jormas.2023.101383.

3

Fluxo Digital em Implantodontia: Integração entre Scanner Intraoral, CBCT, Planejamento Virtual e Prótese CAD/CAM

Caroline Weinert Marçal¹

Letícia Yara Zanzin Rezende²

Camila de Souza Nunes³

Joice Oliveira Monteiro⁴

Lahis Signor Caumo⁵

Adriano Bonguardo⁶

João Pedro Sant'Anna Rangel dos Santos⁷

Ronam Henrique Pegoraro⁸

Carolina do Nascimento Macedo⁹

Renata Aparecida Rosa de Oliveira¹⁰

 **10.29327/5798835.1-3**

¹ Especialista em Implantodontia - Instituto de Ensino Superior Blauro de Mattos

² Cirurgiã-Dentista

³ Especialista em Implantodontia - FEAD (Faculdade de Estudos Administrativos)

⁴ Cirurgiã-Dentista

⁵ Cirurgiã-Dentista

⁶ Especialista em Implantodontia - INCO 25

⁷ Cirurgião-Dentista

⁸ Especialista em Implantodontia - UNINGÁ

⁹ Cirurgiã-Dentista

¹⁰ Cirurgiã-Dentista



Introdução

A implantodontia contemporânea tem passado por uma transformação significativa com a incorporação de tecnologias digitais em todas as etapas do tratamento, desde o diagnóstico inicial até a reabilitação protética definitiva. O conceito de fluxo digital completo representa uma abordagem integrada que combina aquisição digital de dados, planejamento virtual, cirurgia guiada e fabricação de próteses por sistemas CAD/CAM, permitindo maior previsibilidade, precisão e eficiência clínica (Blatz; Coachman, 2023).

Tradicionalmente, o planejamento e a execução de tratamentos com implantes baseavam-se em técnicas analógicas, como moldagens convencionais, enceramentos diagnósticos e planejamento cirúrgico baseado principalmente na experiência clínica e em exames bidimensionais. Embora eficazes, esses métodos apresentam limitações relacionadas à possibilidade de erros acumulativos, maior variabilidade técnica e menor controle sobre o posicionamento tridimensional ideal dos implantes. A digitalização desses processos possibilitou a transição para um modelo de tratamento orientado por dados, no qual as decisões clínicas são fundamentadas em informações tridimensionais e integradas.

Uma das etapas fundamentais desse fluxo é a aquisição digital de dados por meio de scanners intraorais e exames de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT). Enquanto o escaneamento intraoral permite a obtenção de modelos digitais precisos dos tecidos dentários e gengivais, a CBCT fornece informações tridimensionais detalhadas sobre a anatomia óssea e a localização de estruturas anatômicas críticas. A integração desses arquivos, nos formatos STL e DICOM, permite a realização do planejamento protético reverso, no qual a posição do implante é determinada com base no resultado restaurador ideal (Blatz; Coachman, 2023).

Diversos estudos têm demonstrado a precisão e a confiabilidade das impressões digitais em implantodontia. Papaspyridakos *et al.* (2023) observaram que os métodos digitais apresentam desempenho clínico comparável às técnicas convencionais, mesmo em reabilitações extensas, reforçando sua aplicabilidade na prática clínica. Além disso, protocolos alternativos também têm sido descritos, demonstrando que o fluxo digital pode ser adaptado a diferentes cenários clínicos, inclusive em casos de reabilitações completas sem o uso direto de escaneamento intraoral (Burgoa *et al.*, 2024).

Após a aquisição e integração dos dados, o planejamento virtual permite a definição precisa da posição, angulação, profundidade e dimensões dos implantes, considerando simultaneamente fatores anatômicos, biomecânicos e protéticos. Essa abordagem tem contribuído para a redução de complicações cirúrgicas e protéticas, além de favorecer resultados estéticos e funcionais mais previsíveis.

A transferência do planejamento para o campo operatório é realizada por meio de guias cirúrgicos confeccionados digitalmente, que orientam a perfuração e a instalação dos implantes com maior precisão. Revisões sistemáticas demonstram que a cirurgia guiada apresenta elevada acurácia, reduzindo desvios em relação ao planejamento virtual e permitindo abordagens minimamente invasivas, como técnicas *flapless* (Shi *et al.*, 2023). Além disso, avanços recentes incluem sistemas de navegação dinâmica, realidade aumentada e tecnologias assistidas por robótica, que ampliam o controle intraoperatório e representam uma evolução do conceito de cirurgia digital (Khaohoen *et al.*, 2024; Mai *et al.*, 2023).

No âmbito protético, os sistemas CAD/CAM possibilitam o desenho e a fabricação de restaurações implantossuportadas com elevada precisão e padronização. O fluxo digital permite a produção de coroas unitárias, próteses parciais e reabilitações totais com melhor adaptação marginal, menor tempo clínico e maior previsibilidade funcional e estética. Estudos clínicos demonstram que o fluxo digital completo pode reduzir o tempo de tratamento e melhorar a eficiência do processo reabilitador quando comparado às técnicas convencionais (Corsalini *et al.*, 2024). Protocolos digitais também têm sido descritos para próteses híbridas e reabilitações completas, evidenciando a versatilidade dessa abordagem (Conejo *et al.*, 2024).

Apesar das vantagens, a implementação do fluxo digital completo ainda apresenta desafios, como o investimento inicial em equipamentos, a necessidade de treinamento profissional e a integração entre diferentes plataformas e sistemas. No entanto, a evolução tecnológica contínua e a crescente evidência científica têm favorecido a ampla adoção dessas ferramentas na prática clínica.

Diante desse cenário, o fluxo digital completo em implantodontia representa uma mudança de paradigma, promovendo uma abordagem mais precisa, previsível e centrada no resultado restaurador. O objetivo deste capítulo é apresentar os princípios, etapas e aplicações clínicas do fluxo digital em implantodontia, abordando desde a aquisição digital de dados até a reabilitação protética por sistemas CAD/CAM, bem como suas vantagens, limitações e perspectivas futuras.

Aquisição Digital de Dados: Scanner Intraoral e Métodos Alternativos

A aquisição digital de dados representa a primeira etapa do fluxo digital em implantodontia e constitui um componente essencial para a obtenção de resultados previsíveis e precisos. Essa fase envolve a captura das informações anatômicas dos tecidos dentários, mucosos e das posições implantárias por meio de tecnologias digitais, sendo o escaneamento intraoral o método mais amplamente utilizado na prática clínica contemporânea.

Os scanners intraorais permitem a obtenção de modelos tridimensionais em formato STL, substituindo as moldagens convencionais com materiais elastoméricos. Entre as principais vantagens dessa tecnologia destacam-se o maior conforto para o paciente, a eliminação de distorções relacionadas aos materiais de moldagem, a visualização imediata da qualidade da captura e a facilidade de armazenamento e compartilhamento dos arquivos digitais. Além disso, a digitalização direta reduz etapas laboratoriais intermediárias, minimizando potenciais fontes de erro ao longo do processo reabilitador (Papaspnyridakos *et al.*, 2023).

Em implantodontia, o escaneamento é realizado com o auxílio de *scan bodies*, componentes específicos que permitem a transferência precisa da posição tridimensional do implante para o ambiente digital. A correta captura desses dispositivos é fundamental para garantir a fidelidade do planejamento protético e da confecção das restaurações CAD/CAM.

Apesar dos avanços tecnológicos, a precisão do escaneamento intraoral pode ser influenciada por fatores como a extensão da área a ser digitalizada, a presença de tecidos moles móveis e a experiência do operador. Reabilitações de

arcadas completas edêntulas ainda representam um desafio, devido à ausência de referências anatômicas estáveis e ao potencial acúmulo de erros durante a varredura. No entanto, estudos clínicos demonstram que as impressões digitais apresentam desempenho comparável às técnicas convencionais, mesmo em casos de reabilitações extensas, quando protocolos adequados são seguidos (Paspayridakos *et al.*, 2023).

Além do escaneamento intraoral direto, protocolos alternativos de aquisição digital têm sido descritos, ampliando as possibilidades de aplicação do fluxo digital. Burgoa *et al.* (2024) apresentaram um protocolo para reabilitação completa implantossuportada com carga imediata utilizando métodos digitais indiretos, sem a necessidade de escaneamento intraoral. Essa abordagem demonstrou que a digitalização pode ser obtida por meio da combinação de registros laboratoriais, escaneamento extraoral e planejamento virtual, permitindo a realização de tratamentos complexos em um número reduzido de consultas.

Essas alternativas são particularmente úteis em situações clínicas específicas, como limitação de abertura bucal, presença de reflexo nauseoso acentuado ou dificuldades na captura intraoral direta. Além disso, a flexibilidade na aquisição de dados reforça o conceito de que o fluxo digital pode ser adaptado às necessidades clínicas e à disponibilidade tecnológica de cada serviço.

A qualidade da etapa de aquisição de dados tem impacto direto em todas as fases subsequentes do fluxo digital, incluindo a integração com os exames tomográficos, o planejamento virtual, a confecção de guias cirúrgicos e a produção das próteses definitivas. Erros nessa fase podem ser propagados ao longo do processo, comprometendo a precisão do posicionamento implantário e o ajuste protético.

Dessa forma, a obtenção de registros digitais precisos e confiáveis constitui a base para o sucesso do fluxo digital completo em implantodontia, permitindo a integração eficiente das informações clínicas e a execução de um tratamento orientado por dados e centrado no resultado restaurador.

Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CBCT) no Planejamento Implantar

A tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) constitui um dos pilares do fluxo digital em implantodontia, permitindo a avaliação tridimensional da anatomia óssea e das estruturas adjacentes com alto nível de precisão. Diferentemente dos exames radiográficos bidimensionais, a CBCT fornece informações volumétricas que possibilitam a análise detalhada da altura, largura e morfologia do rebordo alveolar, aspectos fundamentais para o planejamento seguro da instalação de implantes.

A análise tridimensional obtida por meio da CBCT permite a identificação de estruturas anatômicas críticas, como o canal mandibular, o forame mental, o trajeto do nervo alveolar inferior, o assoalho do seio maxilar e a cavidade nasal. O reconhecimento preciso dessas estruturas reduz o risco de complicações cirúrgicas, como lesões neurossensoriais ou perfurações sinusais, contribuindo para maior segurança operatória.

Além da avaliação anatômica, a CBCT possibilita a estimativa da disponi-

bilidade óssea e da qualidade do tecido, fatores diretamente relacionados à estabilidade primária do implante e ao prognóstico do tratamento. A visualização em cortes axiais, coronais e sagitais permite mensurações precisas da espessura óssea vestibulolingual, da altura do rebordo e da inclinação da crista alveolar, auxiliando na seleção adequada do diâmetro, comprimento e angulação dos implantes.

No contexto do fluxo digital, os dados tomográficos são exportados em formato DICOM e posteriormente integrados aos arquivos de superfície obtidos por escaneamento intraoral ou digitalização de modelos. Essa combinação permite a correlação entre a anatomia óssea e o contorno dos tecidos moles e dentes remanescentes, possibilitando o planejamento protético reverso, no qual o posicionamento do implante é definido a partir da posição ideal da futura restauração (Blatz; Coachman, 2023).

A integração entre CBCT e arquivos STL representa um passo essencial para a criação de um modelo tridimensional completo do paciente, permitindo a simulação virtual do tratamento, a confecção de guias cirúrgicos personalizados e a fabricação de próteses CAD/CAM. Essa abordagem reduz a dependência de estimativas clínicas e aumenta a previsibilidade dos resultados funcionais e estéticos.

Outro benefício importante da CBCT é a possibilidade de avaliação pré-operatória de necessidades complementares, como procedimentos de regeneração óssea guiada, levantamento de seio maxilar ou enxertos de tecido mole. A identificação antecipada dessas intervenções permite melhor planejamento do tratamento e organização das etapas cirúrgicas.

Apesar de suas vantagens, a indicação da CBCT deve seguir os princípios de proteção radiológica, sendo recomendada principalmente em situações nas quais a avaliação tridimensional possa influenciar a tomada de decisão clínica. A utilização racional dessa tecnologia, associada à interpretação adequada das imagens, é fundamental para maximizar seus benefícios e evitar exposições desnecessárias.

Dessa forma, a CBCT desempenha papel central no fluxo digital em implantodontia, fornecendo as informações anatômicas necessárias para um planejamento tridimensional preciso e permitindo a integração entre diagnóstico, cirurgia e reabilitação dentro de um modelo de tratamento orientado por dados.

Integração de Dados (STL + DICOM) e Planejamento Virtual do Implante

A integração dos dados provenientes do escaneamento intraoral e da tomografia computadorizada de feixe cônico representa uma etapa central no fluxo digital em implantodontia. A combinação dos arquivos de superfície, em formato STL, com os dados volumétricos da CBCT, em formato DICOM, permite a criação de um modelo tridimensional completo do paciente, reunindo informações anatômicas ósseas, dentárias e de tecidos moles em um único ambiente virtual.

Esse processo é realizado por meio de softwares específicos de planejamento implantológico, nos quais ocorre a sobreposição e o alinhamento dos arquivos digitais. A fusão dos dados possibilita a visualização simultânea da anatomia óssea e da morfologia superficial, permitindo uma análise tridimensional precisa das condições clínicas e facilitando a tomada de decisão terapêutica.

A principal vantagem dessa integração é a possibilidade de realizar o plane-

jamento protético reverso, conceito fundamental na implantodontia moderna. Nesse modelo, a posição do implante não é determinada apenas pela disponibilidade óssea, mas sim pela localização ideal da futura restauração, considerando aspectos estéticos, funcionais e biomecânicos. Dessa forma, o implante é posicionado virtualmente em uma localização tridimensional que favoreça a emergência protética adequada, a distribuição equilibrada das cargas oclusais e a preservação dos tecidos peri-implantares (Blatz; Coachman, 2023).

Durante o planejamento virtual, o profissional pode selecionar o tipo de implante, definir seu diâmetro, comprimento, angulação e profundidade, além de avaliar a relação com estruturas anatômicas críticas. A visualização em diferentes planos e a simulação tridimensional permitem antecipar possíveis dificuldades cirúrgicas e ajustar o posicionamento para maximizar a estabilidade primária e o resultado protético.

Outra vantagem importante do planejamento virtual é a possibilidade de simular diferentes cenários terapêuticos, como a necessidade de enxertos ósseos, alterações no posicionamento para evitar estruturas nobres ou modificações no desenho protético. Essa etapa contribui para maior previsibilidade clínica e redução de intercorrências intraoperatórias.

Além disso, o planejamento digital facilita a comunicação entre o cirurgião, o protesista e o laboratório, permitindo a validação conjunta das decisões terapêuticas antes da execução do tratamento. Essa abordagem interdisciplinar contribui para a padronização do fluxo de trabalho e melhora a qualidade dos resultados.

A integração STL–DICOM também constitui a base para as etapas subsequentes do fluxo digital, como a confecção de guias cirúrgicos personalizados e o desenvolvimento das restaurações provisórias ou definitivas por sistemas CAD/CAM. Dessa forma, o planejamento virtual atua como um elo entre o diagnóstico, a cirurgia e a reabilitação, permitindo a transposição precisa do plano digital para o ambiente clínico.

Assim, a fusão de dados e o planejamento virtual representam um avanço significativo na implantodontia contemporânea, promovendo maior controle tridimensional do tratamento e consolidando o conceito de reabilitação orientada pelo resultado protético.

Cirurgia Guiada por Computador

A cirurgia guiada por computador representa uma das aplicações mais importantes do fluxo digital em implantodontia, permitindo a transferência precisa do planejamento virtual para o campo operatório. Essa abordagem reduz a dependência da estimativa clínica intraoperatória e possibilita a execução do posicionamento implantário de forma mais previsível, segura e alinhada ao planejamento protético previamente estabelecido.

Após a etapa de planejamento virtual, os dados tridimensionais são utilizados para a confecção de guias cirúrgicos personalizados, que orientam a sequência de perfuração e a inserção do implante de acordo com a posição, angulação, profundidade e trajetória definidas digitalmente. Esses guias podem ser suportados por dentes, mucosa ou osso, dependendo da condição clínica, e são geral-

mente fabricados por meio de impressão tridimensional.

A principal vantagem da cirurgia guiada está na melhoria da precisão do posicionamento implantário. Revisões sistemáticas demonstram que o uso de guias cirúrgicos reduz significativamente os desvios angulares e lineares em relação ao planejamento virtual, contribuindo para melhores resultados protéticos e redução do risco de complicações relacionadas ao posicionamento inadequado do implante (Shi *et al.*, 2023). Essa precisão é particularmente relevante em áreas estéticas, em casos de espaço protético limitado e em situações de proximidade com estruturas anatômicas críticas.

Outro benefício importante é a possibilidade de realização de procedimentos minimamente invasivos. A cirurgia guiada frequentemente permite abordagens sem retalho (*flapless*), reduzindo o trauma cirúrgico, o tempo operatório, o sangramento intraoperatório e o desconforto pós-operatório. Além disso, a previsibilidade do posicionamento facilita protocolos de carga imediata e a instalação de próteses provisórias previamente confeccionadas.

Além dos sistemas de guia estático, novas tecnologias têm ampliado as possibilidades da cirurgia assistida por computador. A navegação dinâmica permite o rastreamento em tempo real da posição dos instrumentos cirúrgicos em relação à anatomia do paciente, com base nos dados tomográficos previamente adquiridos. Essa tecnologia oferece maior flexibilidade intraoperatória, permitindo ajustes durante o procedimento sem a necessidade de um guia físico.

Uma meta-análise recente comparando diferentes modalidades de cirurgia assistida por computador demonstrou que tanto os sistemas de guias estáticos quanto os sistemas de navegação dinâmica apresentam elevada precisão clínica, com desempenho superior às técnicas convencionais. O estudo também destacou o potencial das tecnologias emergentes, como a cirurgia assistida por robótica, que tem demonstrado resultados promissores em termos de controle tridimensional e redução da variabilidade operatória (Khaohoen *et al.*, 2024).

Apesar das vantagens, algumas limitações devem ser consideradas. A precisão da cirurgia guiada depende diretamente da qualidade das etapas anteriores do fluxo digital, incluindo a aquisição de dados, a integração STL–DICOM e o planejamento virtual. Pequenos erros acumulados ao longo dessas fases podem impactar o resultado final. Além disso, fatores como custo adicional, necessidade de treinamento específico e tempo de planejamento podem representar barreiras para sua implementação em alguns contextos clínicos.

Mesmo diante desses desafios, a cirurgia guiada por computador consolidou-se como uma ferramenta fundamental na implantodontia contemporânea. Sua capacidade de aumentar a precisão, reduzir complicações e permitir abordagens menos invasivas reforça sua importância dentro do conceito de fluxo digital completo, contribuindo para tratamentos mais previsíveis e orientados pelo resultado protético.

Fluxo Protético Digital e Reabilitação CAD/CAM

A fase protética representa a etapa final do fluxo digital em implantodontia e constitui o momento em que o planejamento virtual é materializado em uma reabilitação funcional e estética. A incorporação de sistemas CAD/CAM (*Compu-*

ter-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) possibilitou a digitalização completa dessa etapa, permitindo o desenho virtual das restaurações e sua fabricação automatizada com elevado nível de precisão e padronização.

Após a instalação dos implantes, a obtenção da posição tridimensional das plataformas implantárias é realizada por meio de escaneamento intraoral com *scan bodies* ou pela digitalização de modelos laboratoriais, dependendo do protocolo adotado. Essas informações são transferidas para o ambiente digital, onde o técnico ou o clínico realiza o planejamento protético utilizando softwares específicos de desenho assistido por computador.

O fluxo digital permite a modelagem virtual de diferentes tipos de restaurações, incluindo coroas unitárias, próteses parciais fixas, próteses híbridas e reabilitações totais sobre implantes. A visualização tridimensional possibilita o controle preciso de parâmetros como perfil de emergência, contornos cervicais, pontos de contato proximais e relações oclusais, favorecendo resultados estéticos e funcionais previsíveis.

Estudos clínicos demonstram que a utilização do fluxo digital completo permite a execução de reabilitações implantossuportadas com maior eficiência e previsibilidade. Conejo et al. (2024) descreveram um protocolo digital para prótese híbrida definitiva suportada por implantes, destacando a integração entre planejamento virtual, fabricação CAD/CAM e redução do número de etapas clínicas. De forma semelhante, Burgoa et al. (2024) relataram a reabilitação completa de arcadas com carga imediata utilizando um fluxo digital otimizado, permitindo a conclusão do tratamento em um número reduzido de consultas.

Além da confecção das restaurações definitivas, o fluxo digital também permite o desenvolvimento de dispositivos auxiliares que aumentam a precisão clínica. Shi et al. (2024) descreveram a utilização de guias digitais para ajuste proximal de dentes adjacentes a restaurações implantossuportadas, demonstrando que ferramentas de planejamento assistido por computador podem melhorar a adaptação final e reduzir ajustes clínicos.

Outro avanço importante é a integração de registros funcionais ao ambiente digital. O uso de dispositivos como o *facebow digital* permite a transferência da relação espacial entre maxila e articulação temporomandibular para o sistema CAD/CAM, contribuindo para o planejamento oclusal mais preciso e para a redução de interferências funcionais. Vavříčková et al. (2024) destacaram o papel dessa tecnologia na melhoria da previsibilidade de restaurações implantossuportadas.

A fabricação das próteses pode ser realizada por fresagem ou impressão tridimensional, utilizando materiais como zircônia, dissilicato de lítio, titânio e resinas híbridas. Esses processos automatizados apresentam elevada reprodutibilidade, melhor adaptação marginal e menor variabilidade quando comparados aos métodos convencionais.

Entre as principais vantagens do fluxo protético digital destacam-se a redução do tempo clínico e laboratorial, a melhoria da comunicação entre clínica e laboratório, a possibilidade de armazenamento e reprodução dos arquivos digitais e a maior previsibilidade dos resultados estéticos e funcionais. No entanto, fatores como o custo inicial dos equipamentos, a necessidade de treinamento e a compatibilidade entre diferentes sistemas ainda representam desafios para sua implementação ampla.

Dessa forma, o fluxo protético digital por sistemas CAD/CAM completa o conceito de fluxo digital em implantodontia, integrando diagnóstico, planejamento e execução em um processo contínuo e orientado por dados, com impacto positivo na eficiência clínica e na qualidade das reabilitações implantossuportadas.

Vantagens Clínicas do Fluxo Digital Completo

A implementação do fluxo digital completo em implantodontia tem promovido mudanças significativas na previsibilidade, na eficiência e na qualidade dos tratamentos reabilitadores. A integração entre aquisição digital de dados, planejamento virtual, cirurgia guiada e reabilitação CAD/CAM permite um controle tridimensional de todas as etapas do tratamento, reduzindo a variabilidade clínica e melhorando os resultados funcionais e estéticos.

Uma das principais vantagens dessa abordagem é o aumento da precisão no posicionamento implantário. O planejamento protético reverso, aliado à cirurgia guiada, permite a instalação dos implantes em posições mais favoráveis para a reabilitação, minimizando a necessidade de correções protéticas e reduzindo o risco de complicações mecânicas e biológicas. Estudos clínicos demonstram que o fluxo digital apresenta elevada acurácia e resultados comparáveis ou superiores aos métodos convencionais (Corsalini *et al.*, 2024).

Outro benefício relevante é a redução do tempo clínico e do número de consultas. A digitalização das etapas elimina procedimentos intermediários, como moldagens convencionais e ajustes laboratoriais extensos, otimizando o fluxo de trabalho e aumentando a eficiência tanto para o profissional quanto para o paciente. Protocolos digitais também permitem a realização de carga imediata em casos selecionados, contribuindo para maior satisfação e conforto.

A abordagem digital também favorece a realização de procedimentos minimamente invasivos. A precisão do planejamento e da cirurgia guiada possibilita técnicas sem retalho, reduzindo o trauma cirúrgico, o sangramento intraoperatório e o desconforto pós-operatório, além de acelerar o processo de cicatrização.

Além dos benefícios clínicos diretos, o fluxo digital melhora a comunicação entre os membros da equipe interdisciplinar. A visualização tridimensional do caso permite o compartilhamento de informações entre cirurgião, protesista e laboratório, facilitando o planejamento conjunto e reduzindo falhas de interpretação. A possibilidade de armazenamento e reprodução dos arquivos digitais também contribui para a rastreabilidade e a padronização dos tratamentos.

Do ponto de vista do paciente, a digitalização proporciona maior conforto, melhor compreensão do plano de tratamento e resultados estéticos mais previsíveis. A visualização virtual das etapas terapêuticas e do resultado esperado favorece a aceitação do tratamento e fortalece a relação profissional-paciente.

Dessa forma, o fluxo digital completo representa um avanço importante na implantodontia contemporânea, promovendo maior previsibilidade clínica, eficiência operacional e qualidade nos resultados reabilitadores.

Conclusão

O fluxo digital completo em implantodontia representa um avanço importante na previsibilidade e na eficiência dos tratamentos reabilitadores. A integração entre escaneamento intraoral, tomografia computadorizada de feixe cônico, planejamento virtual, cirurgia guiada e sistemas CAD/CAM permite maior controle tridimensional das etapas clínicas e laboratoriais, favorecendo resultados estéticos e funcionais mais consistentes.

Essa abordagem possibilita o posicionamento implantário orientado pelo planejamento protético, reduz a variabilidade clínica, otimiza o tempo de tratamento e melhora a comunicação entre os profissionais envolvidos. Além disso, contribui para procedimentos menos invasivos e maior conforto ao paciente.

Embora desafios relacionados a custos, curva de aprendizado e integração de sistemas ainda existam, a evolução tecnológica contínua e o aumento da evidência científica indicam que o fluxo digital tende a se consolidar como padrão na implantodontia contemporânea, promovendo uma prática mais precisa, previsível e centrada no paciente.

REFERÊNCIAS

- BLATZ, M. B.; COACHMAN, C. The complete digital workflow in implant dentistry. **Compendium of Continuing Education in Dentistry**, v. 44, n. 7, p. 416, 2023.
- BURGOA, S. et al. Digital workflow for definitive immediately loaded complete arch CAD-CAM implant-supported prosthesis in three appointments without using intraoral scanning. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 132, n. 1, p. 31–36, 2024. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.05.032.
- CONEJO, J. et al. Digital workflow for a definitive implant-supported hybrid prosthesis. **Compendium of Continuing Education in Dentistry**, v. 45, n. 10, p. 520–524, 2024.
- CORSALINI, M. et al. Comparison between conventional and digital workflow in implant prosthetic rehabilitation: a randomized controlled trial. **Journal of Functional Biomaterials**, v. 15, n. 6, p. 149, 2024. DOI: 10.3390/jfb15060149.
- KHAHOEN, A. et al. Accuracy of implant placement with computer-aided static, dynamic, and robot-assisted surgery: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. **BMC Oral Health**, v. 24, p. 359, 2024. DOI: 10.1186/s12903-024-04033-y.
- MAI, H. N.; DAM, V. V.; LEE, D. H. Accuracy of augmented reality-assisted navigation in dental implant surgery: systematic review and meta-analysis. **Journal of Medical Internet Research**, v. 25, e42040, 2023. DOI: 10.2196/42040.
- PAPASPYRIDAKOS, P. et al. Digital vs conventional full-arch implant impressions: a retrospective analysis of 36 edentulous jaws. **Journal of Prosthodontics**, v. 32, n. 4, p. 325–330, 2023. DOI: 10.1111/jopr.13536.
- SHI, L. et al. Digital workflow for proximal adjustment of teeth adjacent to implant-supported fixed restorations using a predesigned computer-aided grinding guide. **Journal of Prosthodontics**, v. 33, n. 1, p. 95–101, 2024. DOI: 10.1111/jopr.13701.
- SHI, Y. et al. A systematic review of the accuracy of digital surgical guides for dental implantation. **International Journal of Implant Dentistry**, v. 9, n. 1, p. 38, 2023. DOI: 10.1186/s40729-023-00507-w.
- VAVŘIČKOVÁ, L.; KAPITÁN, M.; SCHMIDT, J. The role of digital facebow for CAD/CAM implant-supported crowns workflow. **Acta Medica (Hradec Kralove)**, v. 67, n. 1, p. 26–31, 2024. DOI: 10.14712/18059694.2024.16.



4

Inteligência Artificial na Ortodontia: Diagnóstico, Planejamento e Monitoramento

Rafael Rudimar Holler Peres¹

Adriano Palhoni Sabarense²

Renata Lauane Rodrigues Araujo³

Ana Carolina Custódio da Silva De Nadei⁴

Brenda Moraes da Silva⁵

Bruna Moravia de Lira⁶

Conrado Ribeiro de Oliveira⁷

Inara Guedes⁸

Aléxia Caroline Leandro da Conceição⁹

Juliana Menezes Meireles¹⁰

Marly Vale¹¹

doi 10.29327/5798835.1-4

1 Mestre em Odontologia Clínica - Universidade Positivo, Curitiba- PR

2 Especialista em Ortodontia

3 Cirurgiã-Dentista - Centro Universitário São Lucas, Porto Velho – RO

4 Especialista em Odontopediatria - Associação Brasileira de Odontologia (ABO), Seção Rondônia

5 Cirurgiã-Dentista

6 Cirurgiã-Dentista

7 Especialista em Ortodontia - Centro Universitário de Lavras

8 Especialista em Ortodontia - Grupo Straight Wire, Rio de Janeiro

9 Mestre em Clínica Odontológica - Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

10 Cirurgiã-Dentista

11 Cirurgiã-Dentista



Introdução

A ortodontia tem experimentado uma rápida evolução tecnológica nas últimas décadas, impulsionada pela digitalização dos métodos diagnósticos, pelo desenvolvimento de softwares de planejamento tridimensional e pela incorporação de sistemas baseados em inteligência artificial (IA). Essas tecnologias têm transformado a prática clínica, permitindo maior precisão na análise de dados, melhor previsibilidade dos resultados terapêuticos e novas possibilidades de acompanhamento dos pacientes ao longo do tratamento.

A inteligência artificial pode ser definida como o conjunto de sistemas computacionais capazes de simular processos cognitivos humanos, como reconhecimento de padrões, aprendizado a partir de dados e tomada de decisão. No campo da odontologia, e especialmente na ortodontia, algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais profundas vêm sendo aplicados para análise de imagens radiográficas, interpretação de modelos digitais, simulação de movimentação dentária e monitoramento remoto do progresso do tratamento (Liu *et al.*, 2023; Nordblom *et al.*, 2024).

Uma das principais vantagens da IA é sua capacidade de processar grandes volumes de dados clínicos e identificar padrões complexos que podem auxiliar na tomada de decisões mais consistentes e padronizadas. Essa característica tem contribuído para a redução da variabilidade entre profissionais, otimização do tempo clínico e aumento da eficiência no fluxo de trabalho ortodôntico. Revisões recentes destacam que a aplicação da IA abrange múltiplas etapas do tratamento, incluindo diagnóstico, planejamento terapêutico, previsão de resultados e avaliação da resposta ao tratamento (Gracea *et al.*, 2025).

No diagnóstico ortodôntico, sistemas automatizados têm demonstrado alta acurácia na identificação de pontos cefalométricos e na realização de análises craniofaciais, reduzindo o tempo necessário para o traçado e aumentando a reprodutibilidade das medições. Além disso, ferramentas baseadas em IA permitem a classificação de más oclusões, a avaliação da maturação esquelética e a análise de discrepâncias dentárias com elevado nível de precisão (Subramanian *et al.*, 2022; Hendrickx *et al.*, 2024).

No planejamento do tratamento, a integração da IA com softwares de setup digital tem possibilitado a simulação da movimentação dentária, a previsão dos resultados terapêuticos e a personalização das estratégias clínicas. Essas aplicações são particularmente relevantes nos sistemas de alinhadores transparentes, nos quais algoritmos são utilizados para calcular sequências de movimentação e estimar a resposta biológica dos tecidos (Ruiz *et al.*, 2025).

Outra área de destaque é o monitoramento remoto, viabilizado por plataformas de teleortodontia que utilizam inteligência artificial para analisar imagens intraorais enviadas pelos pacientes. Essas ferramentas permitem o acompanhamento contínuo do progresso do tratamento, a identificação precoce de intercorrências e a redução da necessidade de consultas presenciais, contribuindo para maior eficiência e conveniência tanto para o profissional quanto para o paciente (Snider *et al.*, 2024; Batra *et al.*, 2022).

Apesar dos avanços e do crescente interesse científico, a implementação da inteligência artificial na ortodontia ainda apresenta desafios, incluindo a necessidade de validação clínica, padronização dos sistemas, questões relacionadas à

privacidade de dados e a dependência da qualidade das informações utilizadas para treinamento dos algoritmos. No entanto, revisões recentes indicam que o desenvolvimento contínuo dessas tecnologias tende a consolidar a IA como uma ferramenta essencial na ortodontia moderna (Nordblom *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, o objetivo deste capítulo é apresentar as principais aplicações da inteligência artificial na ortodontia, com foco em suas contribuições para o diagnóstico, o planejamento do tratamento e o monitoramento clínico, bem como discutir suas limitações e perspectivas futuras dentro de uma abordagem cada vez mais digital, personalizada e orientada por dados.

Diagnóstico Ortodôntico com Inteligência Artificial

O diagnóstico ortodôntico constitui a base para o planejamento terapêutico adequado e depende da análise integrada de exames clínicos, radiográficos e modelos digitais. A incorporação da inteligência artificial nesse processo tem permitido a automatização de etapas tradicionalmente dependentes de análise manual, reduzindo o tempo de execução e aumentando a reprodutibilidade das avaliações.

Uma das aplicações mais consolidadas da IA no diagnóstico ortodôntico é a identificação automática de pontos cefalométricos em telerradiografias laterais. Algoritmos baseados em redes neurais profundas são capazes de detectar marcadores anatômicos com alta precisão, realizando medições cefalométricas de forma rápida e consistente. Estudos demonstram que o desempenho desses sistemas é comparável ao traçado manual realizado por especialistas, com menor variabilidade inter e intraexaminador (Subramanian *et al.*, 2022; Hendrickx *et al.*, 2024).

Além da cefalometria automatizada, sistemas de IA têm sido utilizados para a análise de radiografias panorâmicas e modelos digitais, permitindo a identificação de dentes inclusos, avaliação de discrepâncias dentárias, mensuração de apinhamento e espaçamento, bem como a classificação de más oclusões. A capacidade de reconhecimento de padrões complexos contribui para diagnósticos mais padronizados e auxilia o clínico na tomada de decisão.

Outra aplicação relevante é a avaliação da maturação esquelética. Ferramentas baseadas em aprendizado de máquina podem analisar características das vértebras cervicais ou de radiografias de mão e punho para estimar o estágio de crescimento do paciente, informação essencial para a escolha do momento ideal de intervenções ortopédicas ou ortodônticas.

De modo geral, o uso da inteligência artificial no diagnóstico ortodôntico promove maior eficiência no fluxo de trabalho, reduz a possibilidade de erros humanos e contribui para a padronização das análises, sem substituir o julgamento clínico, mas atuando como ferramenta de apoio à decisão.

Planejamento do Tratamento com Inteligência Artificial

A inteligência artificial tem ampliado significativamente as possibilidades de planejamento ortodôntico ao permitir a simulação virtual da movimentação dentária e a previsão dos resultados do tratamento. A integração de algoritmos

de aprendizado de máquina com modelos digitais tridimensionais possibilita a elaboração de setups virtuais detalhados, nos quais são planejadas as sequências de movimentação, a magnitude das forças e o tempo estimado de tratamento.

Esses sistemas utilizam grandes bases de dados clínicos para prever padrões de resposta biológica ao movimento dentário, contribuindo para a elaboração de planos terapêuticos mais personalizados e previsíveis. A capacidade de simular diferentes cenários permite ao profissional comparar alternativas de tratamento, avaliar limitações biomecânicas e selecionar a abordagem mais adequada para cada caso.

Uma das aplicações mais difundidas da IA nessa área está relacionada aos sistemas de alinhadores transparentes. Nessas plataformas, algoritmos são utilizados para calcular a progressão das movimentações dentárias, definir o número de etapas necessárias e estimar o resultado final do tratamento. Revisões recentes destacam que o uso da inteligência artificial nesses sistemas tem contribuído para maior previsibilidade e melhor controle do movimento dentário (Ruiz *et al.*, 2025; Xie; Bai, 2024).

Além da simulação dentária, algumas ferramentas permitem a previsão de alterações no perfil facial decorrentes do tratamento, auxiliando na avaliação estética e na comunicação com o paciente. Sistemas baseados em IA também têm sido investigados como suporte à decisão clínica em situações complexas, como a indicação de extrações, a escolha de mecânicas ortodônticas e a estimativa do risco de recidiva.

Dessa forma, a aplicação da inteligência artificial no planejamento ortodôntico representa um avanço importante na personalização do tratamento, na melhoria da previsibilidade dos resultados e na otimização do processo de tomada de decisão clínica.

Monitoramento do Tratamento com Inteligência Artificial

O monitoramento do tratamento ortodôntico é essencial para avaliar a progressão da movimentação dentária, identificar intercorrências precoces e garantir a adequada resposta às mecânicas aplicadas. A incorporação da inteligência artificial a sistemas de teleortodontia tem possibilitado o acompanhamento remoto dos pacientes, promovendo maior eficiência clínica e reduzindo a necessidade de consultas presenciais frequentes.

Plataformas digitais baseadas em IA permitem que os pacientes capturem imagens intraorais periódicas por meio de smartphones ou dispositivos específicos, as quais são automaticamente analisadas por algoritmos de reconhecimento de padrões. Esses sistemas são capazes de avaliar a adaptação de alinhadores ou aparelhos, identificar atrasos na movimentação dentária, detectar problemas como descolamento de acessórios e monitorar condições de higiene oral.

Estudos clínicos demonstram que tecnologias de monitoramento remoto assistidas por inteligência artificial apresentam resultados confiáveis na avaliação da evolução do tratamento e no controle de fatores comportamentais, como a higiene oral e a adesão ao uso de dispositivos ortodônticos (Snider *et al.*, 2024). Além disso, a teleodontologia tem se mostrado uma ferramenta eficaz para otimizar o fluxo clínico, permitindo intervenções precoces quando necessário e re-

duzindo visitas desnecessárias ao consultório (Batra *et al.*, 2022).

Outro benefício importante dessas tecnologias é a possibilidade de comparação automática entre registros sequenciais, por meio da sobreposição de modelos digitais ou análise seriada de imagens. Isso permite ao profissional acompanhar quantitativamente a movimentação dentária e avaliar a eficácia do plano de tratamento em tempo real.

A utilização de sistemas de monitoramento remoto também contribui para melhorar a comunicação entre profissional e paciente, aumentar o engajamento no tratamento e oferecer maior conveniência, especialmente em terapias com alinhadores transparentes ou em pacientes com limitações de deslocamento.

Apesar das vantagens, desafios relacionados à qualidade das imagens capturadas, à privacidade dos dados e à dependência da colaboração do paciente ainda devem ser considerados. No entanto, o avanço contínuo dessas tecnologias indica que o monitoramento assistido por inteligência artificial tende a se tornar parte integrante da prática ortodôntica moderna.

Limitações, Desafios e Perspectivas Futuras

Apesar dos avanços significativos e do crescente número de aplicações clínicas, a implementação da inteligência artificial na ortodontia ainda enfrenta importantes limitações e desafios. Um dos principais fatores está relacionado à dependência da qualidade e da representatividade dos dados utilizados para o treinamento dos algoritmos. Sistemas baseados em aprendizado de máquina podem apresentar desempenho reduzido ou vieses quando aplicados a populações diferentes daquelas utilizadas em seu desenvolvimento, o que reforça a necessidade de validação clínica ampla e multicêntrica.

Outro desafio importante refere-se à padronização dos sistemas e à integração entre diferentes plataformas digitais. A diversidade de softwares, formatos de arquivos e protocolos clínicos pode dificultar a interoperabilidade e limitar a adoção dessas tecnologias em ambientes clínicos com infraestrutura heterogênea.

Questões éticas e legais também devem ser consideradas, especialmente no que diz respeito à privacidade e à segurança dos dados dos pacientes. O armazenamento e o processamento de grandes volumes de informações clínicas e imagens exigem medidas rigorosas de proteção, além de regulamentações claras sobre responsabilidade profissional e uso adequado das ferramentas de inteligência artificial (Nordblom *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2023).

Além disso, embora a IA ofereça suporte valioso à tomada de decisão, ela não substitui o julgamento clínico do ortodontista. A interpretação crítica dos resultados e a individualização do tratamento continuam sendo responsabilidades fundamentais do profissional.

Em relação às perspectivas futuras, espera-se que o avanço contínuo das tecnologias de aprendizado profundo e o crescimento das bases de dados clínicos possibilitem o desenvolvimento de sistemas cada vez mais precisos e personalizados. A integração da inteligência artificial com scanners intraorais, tomografia computadorizada de feixe cônico e softwares de simulação tridimensional tende a consolidar um modelo de ortodontia totalmente digital e orientado por dados.

Nesse contexto, a inteligência artificial deverá desempenhar um papel central na evolução da ortodontia personalizada, permitindo diagnósticos mais precisos, planejamento individualizado e monitoramento contínuo, com impacto positivo na eficiência clínica e na qualidade dos resultados terapêuticos.

Conclusão

A incorporação da inteligência artificial na ortodontia tem promovido avanços significativos nas etapas de diagnóstico, planejamento e monitoramento do tratamento. A capacidade de processar grandes volumes de dados e identificar padrões complexos permite maior precisão nas análises cefalométricas, melhor previsibilidade dos resultados terapêuticos e acompanhamento mais eficiente da evolução clínica.

Ferramentas baseadas em IA contribuem para a padronização das avaliações, redução do tempo clínico e otimização do fluxo de trabalho, além de favorecer uma abordagem mais personalizada e centrada no paciente. O uso de setups digitais, sistemas de alinhadores inteligentes e plataformas de monitoramento remoto demonstra o potencial dessas tecnologias para aumentar a eficiência e a qualidade dos tratamentos ortodônticos.

Apesar dos benefícios, desafios relacionados à validação clínica, integração de sistemas, segurança de dados e necessidade de treinamento profissional ainda devem ser considerados. Nesse contexto, a inteligência artificial deve ser compreendida como uma ferramenta de apoio à decisão clínica, complementando — e não substituindo — a experiência e o julgamento do ortodontista.

Diante da rápida evolução tecnológica e do crescente volume de evidências científicas, a inteligência artificial tende a se consolidar como parte integrante da ortodontia contemporânea, contribuindo para uma prática cada vez mais digital, previsível e orientada por dados.

REFERÊNCIAS

- BATRA, P.; TAGRA, H.; KATYAL, S. Artificial intelligence in teledentistry. **Discoveries**, v. 10, n. 3, e153, 2022. DOI: 10.15190/d.2022.12.
- GRACEA, R. S. et al. Artificial intelligence for orthodontic diagnosis and treatment planning: a scoping review. **Journal of Dentistry**, v. 152, 105442, 2025. DOI: 10.1016/j.jdent.2024.105442.
- HENDRICKX, J. et al. Can artificial intelligence-driven cephalometric analysis replace manual tracing? A systematic review and meta-analysis. **European Journal of Orthodontics**, v. 46, n. 4, cjae029, 2024. DOI: 10.1093/ejo/cjae029.
- LIU, J.; ZHANG, C.; SHAN, Z. Application of artificial intelligence in orthodontics: current state and future perspectives. **Healthcare**, v. 11, n. 20, 2760, 2023. DOI: 10.3390/healthcare11202760.
- NORDBLOM, N. F.; BÜTTNER, M.; SCHWENDICKE, F. Artificial intelligence in orthodontics: critical review. **Journal of Dental Research**, v. 103, n. 6, p. 577–584, 2024. DOI: 10.1177/00220345241235606.
- PUTHENPURAYIL, A. et al. Tech-tuned smiles: a narrative review on the role of software in modern orthodontics. **Cureus**, v. 17, n. 9, e92706, 2025. DOI: 10.7759/cureus.92706.
- RUIZ, D. C. et al. Unveiling the role of artificial intelligence applied to clear aligner therapy: a scoping review. **Journal of Dentistry**, v. 154, 105564, 2025. DOI: 10.1016/j.jdent.2025.105564.
- SNIDER, V. et al. Clinical evaluation of artificial intelligence-driven remote monitoring techno-

logy for assessment of patient oral hygiene during orthodontic treatment. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v. 165, n. 5, p. 586–592, 2024. DOI: 10.1016/j.ajodo.2023.12.008.

SUBRAMANIAN, A. K. et al. Cephalometric analysis in orthodontics using artificial intelligence: a comprehensive review. **BioMed Research International**, 2022, 1880113. DOI: 10.1155/2022/1880113.

XIE, X. J.; BAI, Y. X. Artificial intelligence-supported clear aligner orthodontic technology. **Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi**, v. 59, n. 11, p. 1075–1079, 2024. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20240729-00298.



5

Inteligência Artificial Aplicada a Biomateriais Odontológicos

Ana Beatriz Hoese¹

Aléxia Caroline Leandro da Conceição²

Eliane de Carvalho Dourado Aragão³

Ana Paula Silva Ferreira⁴

Vlademir Amaral-Cazatori⁵

Samantha Vitale Ribeiro Moreno⁶

Flávia Maria Ferreira Mendes⁷

Ediliana Dias Chaves Campos de Amaral⁸

Sara Holanda Pinheiro⁹

Gabriella Dantas de Almeida¹⁰

doi 10.29327/5798835.1-5

1 Mestre em Clínica Odontológica - Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

2 Mestre em Odontopediatria - Faculdade São Leopoldo Mandic, Campinas - SP

3 Mestre em Odontopediatria - Faculdade São Leopoldo Mandic, Campinas - SP

4 Especialista em Harmonização Orofacial - Faculdade Unyleya

5 Mestre em Odontologia - Faculdade São Leopoldo Mandic, Campinas - SP

6 Mestre em Odontologia Estética e Harmonização Orofacial - Universidade de Guarulhos (UNG)

7 Cirurgiã-Dentista

8 Especialista em Radiologia - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR)

9 Especialista em Prótese Dentária - Universidade Federal do Ceará

10 Cirurgiã-Dentista



A evolução da odontologia nas últimas décadas tem sido marcada pela incorporação de tecnologias digitais capazes de aprimorar a precisão diagnóstica, a previsibilidade terapêutica e a eficiência clínica. Nesse contexto, a inteligência artificial (IA) tem emergido como uma ferramenta promissora, com aplicações que abrangem desde o diagnóstico por imagem até o planejamento de tratamentos e a análise de dados clínicos. Mais recentemente, o uso da IA tem se expandido para o campo dos biomateriais odontológicos, contribuindo para o desenvolvimento, caracterização e avaliação de novos materiais com maior desempenho clínico (Rokaya *et al.*, 2024; Najeeb; Islam, 2025).

A crescente demanda por materiais restauradores e regenerativos com propriedades mecânicas superiores, elevada biocompatibilidade e maior durabilidade tem impulsionado o uso de métodos computacionais avançados. Algoritmos de aprendizado de máquina permitem analisar grandes volumes de dados experimentais e identificar padrões complexos entre composição, microestrutura e comportamento mecânico dos materiais, possibilitando a predição de propriedades físicas e funcionais com maior rapidez e precisão em comparação aos métodos tradicionais (Cao *et al.*, 2023; Suryawanshi; Behera, 2024).

Além da predição de desempenho mecânico, a inteligência artificial tem sido aplicada na caracterização microestrutural de biomateriais por meio da análise automatizada de imagens obtidas por microscopia eletrônica. Técnicas de *deep learning* possibilitam a avaliação da distribuição de partículas, porosidade e integridade estrutural dos materiais, fornecendo informações relevantes para a otimização de sua formulação e desempenho clínico (Lee *et al.*, 2022).

Outro aspecto relevante refere-se à capacidade da IA em prever respostas biológicas aos biomateriais, incluindo citotoxicidade e biocompatibilidade. Modelos preditivos baseados em dados experimentais permitem estimar a interação material-tecido, contribuindo para a seleção de materiais mais seguros e reduzindo a necessidade de extensos testes laboratoriais e experimentação animal (Zhang *et al.*, 2023).

No campo da engenharia tecidual, a inteligência artificial também tem sido empregada no design de biomateriais regenerativos, especialmente no desenvolvimento de *scaffolds* para regeneração óssea. Por meio da modelagem computacional, é possível otimizar características estruturais, como porosidade e resistência mecânica, favorecendo a integração tecidual e melhorando os resultados clínicos em implantodontia e regeneração óssea guiada (Wang *et al.*, 2024).

Apesar dos avanços, a implementação clínica dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, incluindo a necessidade de validação científica robusta, padronização de protocolos e capacitação profissional. Estudos indicam que, embora haja crescente interesse na utilização da IA na odontologia, ainda existem lacunas no conhecimento e na familiaridade dos profissionais com essas ferramentas, o que pode limitar sua adoção na prática clínica (Dashti *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, a integração entre inteligência artificial e biomateriais representa uma abordagem inovadora e estratégica para o avanço da odontologia contemporânea. Assim, o objetivo deste capítulo é apresentar as principais aplicações da inteligência artificial no desenvolvimento, caracterização e avaliação de biomateriais odontológicos, bem como discutir seus desafios e perspectivas futuras, com foco em sua relevância clínica e potencial de transformação da

prática odontológica.

Inteligência Artificial na Odontologia e nos Biomateriais: Panorama Atual

A incorporação da inteligência artificial na odontologia tem promovido mudanças significativas nos fluxos clínicos e laboratoriais, especialmente nas áreas restauradora e protética. A integração entre sistemas digitais, como scanners intraorais, softwares de planejamento e tecnologias CAD/CAM, possibilita a coleta e análise de grandes volumes de dados clínicos e laboratoriais, criando um ambiente propício para a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina no desenvolvimento e na otimização de biomateriais (Revilla-León *et al.*, 2022; Revilla-León *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a IA tem sido utilizada como ferramenta de apoio à tomada de decisão na seleção de materiais restauradores, considerando fatores como resistência mecânica, desgaste, propriedades ópticas e longevidade clínica. Modelos preditivos permitem correlacionar características do material com condições clínicas específicas, contribuindo para uma abordagem mais individualizada e baseada em evidências (Najeeb; Islam, 2025).

Além disso, a digitalização dos processos restauradores possibilita a avaliação contínua do desempenho dos biomateriais por meio da análise de dados provenientes de reabilitações clínicas. Essas informações podem ser utilizadas para treinar algoritmos capazes de identificar padrões de falha, prever o comportamento a longo prazo dos materiais e orientar melhorias em sua composição e fabricação (Rokaya *et al.*, 2024).

Na prótese dentária, modelos de inteligência artificial também têm sido aplicados no planejamento e na confecção de restaurações fixas e removíveis, auxiliando na definição de parâmetros geométricos, adaptação marginal e distribuição de cargas. Essa abordagem contribui para maior precisão na fabricação e redução de ajustes clínicos, além de melhorar a previsibilidade do desempenho dos materiais restauradores (Revilla-León *et al.*, 2023).

Outro aspecto relevante é a integração da IA com sistemas de manufatura digital, permitindo a automatização de etapas do processo de produção e o controle de qualidade dos materiais e restaurações. A análise automatizada de defeitos, irregularidades ou variações dimensionais contribui para a padronização dos resultados e para a melhoria da confiabilidade dos biomateriais utilizados na prática clínica.

Dessa forma, a aplicação da inteligência artificial no contexto dos biomateriais odontológicos não se limita ao ambiente experimental, mas também abrange o fluxo clínico digital, promovendo maior previsibilidade, personalização e eficiência nos tratamentos restauradores e reabilitadores.

Predição de Propriedades Mecânicas com Aprendizado de Máquina

A avaliação das propriedades mecânicas é um dos aspectos fundamentais no desenvolvimento e na seleção de biomateriais odontológicos, uma vez que esses materiais estão sujeitos a cargas funcionais repetitivas e a condições ambientais adversas. Tradicionalmente, a análise dessas propriedades depende de extensos testes laboratoriais, que demandam tempo, custos elevados e múltiplas etapas experimentais.

Com o avanço da inteligência artificial, modelos de aprendizado de máquina têm sido utilizados para prever o comportamento mecânico dos materiais a partir de dados experimentais e parâmetros relacionados à sua composição e microestrutura. Esses modelos permitem estimar propriedades como resistência à compressão, módulo elástico, tenacidade e desempenho sob fadiga, reduzindo a necessidade de testes laboratoriais extensivos (Cao *et al.*, 2023).

Além disso, algoritmos preditivos têm sido aplicados para estimar o desgaste de resinas compostas em condições clínicas simuladas. Estudos demonstram que modelos baseados em aprendizado de máquina são capazes de identificar relações complexas entre variáveis como carga oclusal, tempo de uso e características do material, possibilitando a previsão do comportamento clínico a longo prazo (Suryawanshi; Behera, 2024).

Essa abordagem contribui para a otimização da formulação dos biomateriais, permitindo o ajuste de sua composição antes mesmo da produção em larga escala. Como resultado, há redução no tempo de desenvolvimento, menor custo de pesquisa e maior eficiência na criação de materiais com desempenho clínico superior.

Caracterização Microestrutural Assistida por *Deep Learning*

A microestrutura dos biomateriais exerce influência direta sobre suas propriedades mecânicas, físicas e biológicas. Características como tamanho e distribuição de partículas, porosidade, homogeneidade estrutural e qualidade da interface material-tecido são determinantes para o desempenho clínico dos materiais odontológicos.

Tradicionalmente, a análise microestrutural é realizada por meio de técnicas de microscopia eletrônica de varredura (SEM), cuja interpretação depende da avaliação manual por especialistas. No entanto, a aplicação de técnicas de *deep learning* tem permitido a automatização desse processo, aumentando a precisão e a reprodutibilidade das análises.

Modelos de redes neurais convolucionais são capazes de identificar padrões estruturais, segmentar imagens, quantificar porosidade e analisar a distribuição de fases nos materiais. Essa abordagem possibilita uma caracterização mais detalhada e objetiva da microestrutura, contribuindo para a compreensão da relação entre estrutura e desempenho clínico (Lee *et al.*, 2022).

Além disso, a análise automatizada de imagens permite o processamento de grandes volumes de dados em menor tempo, favorecendo estudos comparativos e acelerando o desenvolvimento de novos biomateriais com propriedades otimizadas.

Predição de Biocompatibilidade e Citotoxicidade

A biocompatibilidade é um requisito essencial para qualquer biomaterial odontológico, uma vez que a interação adequada com os tecidos biológicos é fundamental para o sucesso clínico. A avaliação convencional desse parâmetro envolve testes *in vitro*, estudos em modelos animais e ensaios clínicos, processos que podem ser longos e dispendiosos.

A inteligência artificial tem sido aplicada no desenvolvimento de modelos preditivos capazes de estimar a resposta biológica aos materiais com base em suas características químicas, físicas e estruturais. Esses sistemas utilizam dados experimentais previamente obtidos para prever parâmetros como viabilidade celular, potencial inflamatório e citotoxicidade (Zhang *et al.*, 2023).

Essa abordagem permite a triagem inicial de novos materiais antes da realização de testes laboratoriais mais complexos, reduzindo custos, tempo de pesquisa e a necessidade de experimentação animal. Além disso, a predição precoce de possíveis efeitos adversos contribui para o desenvolvimento de biomateriais mais seguros e eficientes.

Design Inteligente de Biomateriais para Regeneração

A aplicação da inteligência artificial na engenharia de tecidos tem permitido avanços significativos no design de biomateriais regenerativos, especialmente no desenvolvimento de *scaffolds* para regeneração óssea. Esses materiais devem apresentar características específicas, como porosidade adequada, resistência mecânica compatível e capacidade de promover a vascularização e a formação óssea.

Modelos baseados em aprendizado de máquina possibilitam a otimização dessas características por meio da análise de múltiplas variáveis estruturais e funcionais. A IA permite identificar combinações ideais de parâmetros geométricos e materiais, favorecendo a integração tecidual e melhorando os resultados clínicos (Wang *et al.*, 2024).

Além disso, a integração da inteligência artificial com tecnologias de impressão 3D possibilita a fabricação de biomateriais personalizados, adaptados às necessidades anatômicas e clínicas específicas de cada paciente. Essa abordagem representa um passo importante em direção à odontologia personalizada e à medicina regenerativa de precisão.

Desafios, Limitações e Perspectivas Futuras

Apesar dos avanços significativos, a implementação da inteligência artificial no desenvolvimento e na aplicação clínica de biomateriais ainda enfrenta desafios importantes. Um dos principais obstáculos está relacionado à qualidade e à padronização dos dados utilizados para o treinamento dos algoritmos, uma vez que modelos preditivos dependem de bases de dados robustas e representativas para garantir resultados confiáveis.

Além disso, questões relacionadas à validação clínica, integração entre sistemas digitais e interpretação dos resultados devem ser consideradas. Embora a IA

ofereça suporte valioso à tomada de decisão, o julgamento clínico do profissional continua sendo essencial na seleção e na aplicação dos biomateriais.

Outro aspecto relevante refere-se à necessidade de capacitação dos profissionais para o uso dessas tecnologias. Estudos indicam que, apesar do crescente interesse na área, ainda existem lacunas no conhecimento e na familiaridade dos cirurgiões-dentistas com ferramentas baseadas em inteligência artificial, o que pode limitar sua adoção na prática clínica (Dashti *et al.*, 2024).

Em relação ao futuro, espera-se que o avanço das tecnologias de aprendizado profundo, aliado ao crescimento das bases de dados clínicos e laboratoriais, permita o desenvolvimento de sistemas cada vez mais precisos. A integração entre inteligência artificial, biomateriais bioativos, impressão 3D e engenharia tecidual tende a consolidar um modelo de odontologia mais personalizada, previsível e orientada por dados.

Conclusão

A aplicação da inteligência artificial no campo dos biomateriais odontológicos representa um avanço significativo no desenvolvimento, caracterização e utilização clínica desses materiais. A capacidade dos algoritmos de aprendizado de máquina em analisar grandes volumes de dados tem permitido a predição de propriedades mecânicas, a avaliação microestrutural automatizada, a estimativa de biocompatibilidade e o design otimizado de biomateriais regenerativos.

Essas tecnologias contribuem para a redução do tempo e dos custos envolvidos na pesquisa e desenvolvimento, além de aumentar a previsibilidade do desempenho clínico dos materiais. A integração da inteligência artificial com ferramentas digitais, como modelagem computacional e impressão tridimensional, reforça o potencial de uma odontologia cada vez mais personalizada e baseada em evidências.

Entretanto, desafios relacionados à qualidade dos dados, validação clínica e capacitação profissional ainda precisam ser superados para a plena incorporação dessas tecnologias na prática clínica. Nesse contexto, a inteligência artificial deve ser compreendida como uma ferramenta de suporte à decisão, complementando a análise crítica e a experiência do profissional.

Diante do rápido avanço tecnológico e do crescente volume de evidências científicas, a integração entre inteligência artificial e biomateriais tende a desempenhar um papel central na evolução da odontologia moderna, promovendo tratamentos mais seguros, eficientes e previsíveis.

REFERÊNCIAS

- CAO, L. et al. Machine learning for predicting mechanical properties of dental resin composites. **Dental Materials**, 2023.
- DASHTI, M. et al. Attitudes, knowledge, and perceptions of dentists and dental students toward artificial intelligence: a systematic review. **Journal of Taibah University Medical Sciences**, v. 19, n. 2, p. 327–337, 2024. DOI: 10.1016/j.jtumed.2023.12.010.
- LEE, J. H. et al. Deep learning-based microstructure analysis of dental materials using SEM images. **Materials Science and Engineering C**, 2022.

- NAJEEB, M.; ISLAM, S. Artificial intelligence (AI) in restorative dentistry: current trends and future prospects. **BMC Oral Health**, v. 25, n. 1, 592, 2025. DOI: 10.1186/s12903-025-05989-1.
- REVILLA-LEÓN, M. et al. Artificial intelligence applications in restorative dentistry: a systematic review. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 128, n. 5, p. 867–875, 2022. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.02.010.
- REVILLA-LEÓN, M. et al. Artificial intelligence models for tooth-supported fixed and removable prosthodontics: a systematic review. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 129, n. 2, p. 276–292, 2023. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.06.001.
- ROKAYA, D. et al. Artificial intelligence in dentistry and dental biomaterials. **Frontiers in Dental Medicine**, v. 5, 1525505, 2024. DOI: 10.3389/fdmed.2024.1525505.
- SURYAWANSHI, A.; BEHERA, N. Prediction of wear of dental composite materials using machine learning algorithms. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 27, n. 3, p. 400–410, 2024. DOI: 10.1080/10255842.2023.2187671.
- WANG, P. et al. Machine learning-assisted design of bioactive scaffolds for bone regeneration. **Biofabrication**, 2024.
- ZHANG, Y. et al. Artificial intelligence-based prediction of biocompatibility and cytotoxicity of biomaterials. **Acta Biomaterialia**, 2023.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmos – 14–16, 28–30

Análise preditiva – 42–44

Aprendizado de máquina (Machine Learning) – 18–22, 36

Automação clínica – 40–42

B

Big Data – 26–28

C

Cirurgia guiada – 58–60

Clínica digital – 38–40

Computação aplicada à saúde – 14–16

Conduta ética profissional – 72–74

D

Diagnóstico por imagem – 30–34

Diagnóstico assistido por IA – 30–36

Digitalização odontológica – 38–41

Dados clínicos, análise de – 26–28

E

Educação odontológica – 76–79

Ética em Inteligência Artificial – 70–74

Exames radiográficos, interpretação automatizada – 31–33

F

Fluxo digital de trabalho – 39–41

I

Implantodontia digital – 58–60

Inovação tecnológica – 12–14

Inteligência Artificial (IA) – 12–22, 30–36, 70–74

Interoperabilidade de sistemas – 27–28

L

LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados) – 72–73

M

Modelos preditivos – 42–44

O

Odontologia digital – 38–41

Odontologia personalizada – 42–44

Ortodontia digital – 52–55

P

Planejamento digital – 46–50

Predição de tratamentos – 42–44

Privacidade de dados – 72–73

Processamento de imagens – 30–34

R

Radiologia odontológica – 30–34

Reconhecimento de padrões – 18–22

Robótica em odontologia – 60–62

S

Saúde baseada em dados – 26–28

Segurança da informação – 72–73

Sistemas inteligentes – 14–18

T

Teleodontologia – 64–66

Tomografia computadorizada – 32–34

Transformação digital – 12–14

O *Impacto da Inteligência Artificial no Futuro da Odontologia* apresenta uma análise atual e fundamentada sobre a incorporação da IA na prática odontológica. A obra aborda aplicações em diagnóstico por imagem, planejamento cirúrgico digital, Implantodontia, Ortodontia e biomateriais, destacando benefícios, limitações e desafios éticos. Com base em evidências científicas recentes, demonstra como a tecnologia pode ampliar a precisão, a previsibilidade e a personalização dos tratamentos. Um livro essencial para compreender a transformação digital que redefine o presente e o futuro da Odontologia.

