

UNIVERSIDADE PAULISTA

POLIANA DIAS MAIA LIMA

TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO NA ENDODONTIA:
revisão de literatura

SANTANA DE PARNAÍBA

2026

POLIANA DIAS MAIA LIMA

TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO NA ENDODONTIA:
revisão de literatura

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Paulista –
UNIP como parte dos requisitos para
graduação em Odontologia.
Orientador: Prof. Bruno Caputo

SANTANA DE PARNAÍBA

2026

CIP - Catalogação na Publicação

Lima, Poliana Dias Maia.

Tomografia computadorizada de feixe cônico na endodontia / Poliana Dias Maia Lima. – 2026.

38 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) apresentado ao Instituto de Ciência da Saúde da Universidade Paulista, Santana de Parnaíba, 2026.

Área de Concentração: Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Caputo.

1. Tomografia computadorizada de feixe cônico. 2. Endodontia. 3. Endodontia guiada. 4. Diagnóstico por imagem. 5. Tecnologia digital. I. Caputo, Bruno (orientador). II. Título.

POLIANA DIAS MAIA LIMA

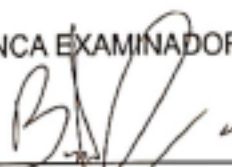
TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO NA ENDODONTIA:
revisão de literatura

Trabalho de conclusão de curso para
obtenção do título de graduação em
Odontologia apresentado à
Universidade Paulista – UNIP.

nota 10,0

Aprovado(a) em: 01 / 06 / 2026

BANCA EXAMINADORA



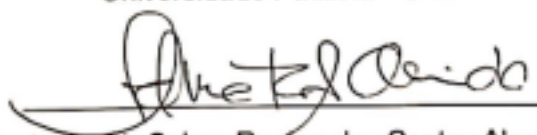
Prof. Dr. Bruno Caputo

Universidade Paulista - UNIP



Profa. Dr(a). Ruth Andia Merlin

Universidade Paulista - UNIP



Profa. Dr(a). Selma Regina dos Santos Almeida

Universidade Paulista - UNIP

"Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar."

(Josué 1:9)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, autor da minha vida e sustentador de cada passo desta caminhada. A Ele, toda honra por ter me concedido força, coragem, sabedoria e perseverança nos momentos de dificuldade, amparando-me e confirmando, em meu coração, que eu estava no caminho certo.

Ao meu esposo, expresso minha mais sincera gratidão pelo amor, companheirismo e dedicação. Obrigada por caminhar ao meu lado, por acreditar em mim, por não medir esforços para oferecer todo o suporte necessário e por assumir, com amor e zelo, responsabilidades em nosso lar para que este sonho se tornasse realidade.

Aos meus filhos, fonte diária de inspiração, deixo meu amor e minha eterna gratidão. Mesmo pequenos, demonstraram compreensão, carinho e paciência durante essa jornada, sendo minha motivação constante para seguir em frente. Tudo o que faço também é por vocês.

Aos meus pais, registro minha mais sincera gratidão por terem sido fundamentais na formação da mulher que sou hoje. A vocês devo os princípios e valores que moldaram meu caráter, tornando-me uma pessoa determinada, disciplinada e guiada por sólidos valores.

Aos meus sogros, em especial à minha sogra, registro minha profunda gratidão por todo o suporte e pelos recursos generosamente oferecidos ao longo desta trajetória. Sem medir esforços, foi uma rede de apoio fundamental e necessária para nossa família

RESUMO

A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) tem se consolidado como uma tecnologia de grande relevância na odontologia contemporânea, especialmente na área da endodontia, ao proporcionar imagens tridimensionais de alta resolução que permitem uma análise mais precisa das estruturas dentárias e periapicais. O presente estudo teve como objetivo analisar as aplicações da TCFC na endodontia, com ênfase na endodontia guiada, destacando seus benefícios, limitações e perspectivas futuras. Tratou-se de uma revisão de literatura, baseada em artigos científicos publicados em bases de dados nacionais e internacionais, que abordam o uso da TCFC no diagnóstico, planejamento e execução de procedimentos endodônticos. Os resultados evidenciaram que a TCFC apresenta superioridade em relação às radiografias convencionais na detecção de lesões periapicais, fraturas radiculares, variações anatômicas e canais acessórios, contribuindo para maior acurácia diagnóstica e previsibilidade dos tratamentos. A integração da TCFC com tecnologias digitais, como *softwares* de planejamento e impressão 3D, tem possibilitado o desenvolvimento da endodontia guiada, que se mostra eficaz em casos complexos, como canais calcificados e retratamentos, reduzindo riscos de falhas e iatrogenias. A navegação dinâmica, por sua vez, surge como uma inovação promissora, permitindo controle em tempo real durante os procedimentos, embora ainda apresente limitações relacionadas ao custo e à necessidade de capacitação técnica. Concluiu-se que a TCFC desempenha papel fundamental na endodontia moderna, contribuindo para abordagens mais seguras, precisas e minimamente invasivas, sendo essencial sua utilização criteriosa com base em indicações clínicas bem estabelecidas. Destaca-se, ainda, a necessidade de novos estudos clínicos que consolidem protocolos e ampliem a aplicação dessas tecnologias na prática odontológica.

Palavras-chave: tomografia computadorizada de feixe cônico; endodontia; endodontia guiada; diagnóstico por imagem; tecnologia digital.

ABSTRACT

Cone beam computed tomography (CBCT) has become a highly relevant technology in contemporary dentistry, particularly in the field of endodontics, as it provides high-resolution three-dimensional images that allow a more accurate analysis of dental and periapical structures. This study aimed to analyze the applications of CBCT in endodontics, with emphasis on guided endodontics, highlighting its benefits, limitations, and future perspectives. This is a literature review based on scientific articles published in national and international databases addressing the use of CBCT in the diagnosis, planning, and execution of endodontic procedures. The results indicate that CBCT shows superiority over conventional radiography in detecting periapical lesions, root fractures, anatomical variations, and accessory canals, contributing to greater diagnostic accuracy and treatment predictability. Furthermore, the integration of CBCT with digital technologies, such as planning software and three-dimensional printing, has enabled the development of guided endodontics, which has proven effective in complex cases, including calcified canals and retreatments, reducing the risk of failures and iatrogenic events. Dynamic navigation emerges as a promising innovation, allowing real-time control during procedures, although it still presents limitations related to cost and the need for technical training. It is concluded that CBCT plays a fundamental role in modern endodontics, contributing to safer, more precise, and minimally invasive approaches, and its use should be based on well-established clinical indications. Further clinical studies are needed to establish standardized protocols and expand the application of these technologies in dental practice.

Keywords: cone beam computed tomography; endodontics; guided endodontics; diagnostic imaging; digital technology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Imagens de TCFC em cortes sagital, coronal e axial demonstrando dupla curvatura radicular e comparação pré e pós-tratamento endodôntico.....17
- Figura 2** - Cortes tomográficos obtidos por TCFC em diferentes planos evidenciando lesão periapical e comprometimento ósseo, contribuindo para o diagnóstico precoce em endodontia.18
- Figura 3** - Reconstrução panorâmica e cortes axial e transaxial evidenciando fratura radicular por meio de TCFC.19
- Figura 4** - Reconstrução panorâmica associada a cortes tomográficos obtidos por TCFC, permitindo avaliação tridimensional de estruturas anatômicas de interesse em endodontia.20
- Figura 5** - Cortes tomográficos em TCFC evidenciando artefatos de endurecimento do feixe (beam hardening) causados por pino metálico intracanal, comprometendo a qualidade da imagem.21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Avanços tecnológicos e princípios da TCFC	14
3.2 Aplicações clínicas da TCFC na Endodontia	16
3.3 Endodontia guiada: integração da TCFC e impressão 3D.....	21
3.4 Navegação dinâmica e perspectivas futuras	24
4 DISCUSSÃO	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O avanço da odontologia ao longo das últimas décadas tem sido marcado pela incorporação de novas tecnologias que ampliam a precisão diagnóstica e terapêutica. Entre essas inovações, a radiologia odontológica evoluiu de imagens bidimensionais para métodos tridimensionais que permitem compreender de forma mais detalhada as estruturas dentárias e periapicais. Cesca, Mioranza e Anrain (2022) descrevem que a limitação da radiografia convencional está na sobreposição de estruturas e na distorção da imagem, o que muitas vezes compromete o diagnóstico e o planejamento do tratamento endodôntico.

A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), também conhecida como *cone beam*, surgiu como resposta às demandas de maior acurácia em Odontologia. Segundo Marcelino *et al.* (2024), essa técnica oferece imagens tridimensionais de alta resolução, com menor dose de radiação em comparação à tomografia convencional, tornando-se uma alternativa viável para o estudo da região craniofacial. Essa evolução tecnológica consolidou a TCFC como recurso indispensável para especialidades que exigem diagnóstico detalhado, como a endodontia.

A endodontia é uma área que enfrenta desafios constantes, especialmente nos casos de canais calcificados, variações anatômicas e fraturas radiculares. Silva *et al.* (2022) ressaltam que o uso da TCFC nesses contextos tem ampliado a previsibilidade dos procedimentos, permitindo uma avaliação mais fiel da anatomia interna dos dentes e melhor planejamento das etapas clínicas. Dessa forma, a integração da imagem tridimensional ao tratamento endodôntico fortalece a capacidade de preservação da estrutura dental.

A aplicabilidade da TCFC na endodontia tornou-se ainda mais significativa com o desenvolvimento da endodontia guiada. Casadei *et al.* (2020) demonstraram que a combinação entre tomografia computadorizada e escaneamento óptico possibilitou o acesso ao canal original após desvio e perfuração, destacando a precisão da técnica para situações de alta complexidade. Esses achados reforçam que a utilização da TCFC não se restringe ao diagnóstico, mas também se estende à execução segura dos procedimentos.

As aplicações da endodontia guiada ganharam visibilidade por permitirem intervenções em casos antes considerados de difícil resolução. Loureiro *et al.* (2021)

relataram que, em um dente com canal severamente calcificado e perfuração, o planejamento com TCFC associado a guias impressos em 3D possibilitou localizar o canal radicular e restabelecer o tratamento. Esse tipo de abordagem exemplifica como a tecnologia reduz o risco de falhas e amplia as possibilidades terapêuticas em situações críticas.

Oliveira Neto *et al.* (2023) enfatizam que o uso combinado da TCFC com digitalização intraoral resulta em guias precisos que orientam o acesso ao canal radicular e destacam que essa metodologia reduz o tempo clínico, aumenta a previsibilidade e permite que até profissionais menos experientes alcancem resultados satisfatórios, mostrando a democratização do uso da tecnologia na prática endodôntica.

Entretanto, a incorporação dessas ferramentas também trouxe a necessidade de avaliar suas limitações e perspectivas futuras. Connert, Weiger e Krastl (2022) observaram que, apesar da elevada precisão e segurança relatadas em estudos de laboratório e relatos de casos, ainda há carência de ensaios clínicos comparativos que consolidem protocolos universais para endodontia guiada. Essa constatação evidencia que a área se encontra em constante expansão, mas carece de padronização científica.

As dificuldades inerentes ao uso de guias estáticos também foram apontadas por Tavares *et al.* (2022) ao destacarem que falhas podem ocorrer devido a erros de fusão das imagens ou imprecisão na adaptação do guia, resultando em perfurações radiculares. Esses relatos evidenciam que, embora a TCFC aumente a segurança, a técnica não elimina totalmente a possibilidade de iatrogenias, demandando preparo técnico e atenção criteriosa do operador.

Outro aspecto relevante é a introdução da navegação dinâmica como alternativa ou complemento aos guias estáticos. Vasudevan *et al.* (2022) ressaltam que essa modalidade, baseada em sistemas computadorizados que oferecem feedback em tempo real, possibilita maior flexibilidade durante o procedimento e reduz erros iatrogênicos. Essa inovação mostra que a endodontia guiada, apoiada pela TCFC, segue em processo de aprimoramento contínuo.

Por sua vez, Kulinkovych-Levchuk *et al.* (2022) afirmam que a endodontia guiada, em suas diferentes modalidades, é aplicável não apenas ao acesso em canais obliterados, mas também em retratamentos complexos e cirurgias periapicais e ainda apontam que o método é independente da experiência do operador, o que representa

um avanço significativo na padronização e segurança clínica. Assim, evidencia-se que a TCFC é o pilar tecnológico que sustenta a prática da endodontia guiada, consolidando-se como ferramenta essencial para a Odontologia contemporânea.

Este trabalho justifica-se pela relevância crescente da tomografia computadorizada de feixe cônico na prática endodôntica e pela necessidade de reunir, analisar e discutir as evidências científicas disponíveis. Apesar dos avanços já alcançados, ainda há desafios a serem superados quanto à padronização dos protocolos e à disseminação do uso da tecnologia em diferentes realidades clínicas. A sistematização do conhecimento sobre a TCFC e sua integração com a endodontia guiada é fundamental para embasar práticas seguras, eficientes e acessíveis, fortalecendo a atuação profissional e beneficiando diretamente os pacientes.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar as aplicações da tomografia computadorizada de feixe cônico na endodontia, com ênfase na endodontia guiada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Avanços tecnológicos e princípios da TCFC

A TCFC utiliza um tubo de raios-X e um detector bidimensional que giram em torno do paciente, emitindo um feixe cônico que capta toda a região de interesse em uma única rotação. Essa geometria permite reconstruir imagens volumétricas tridimensionais isotrópicas com alta precisão geométrica, enquanto o tempo de exame é significativamente reduzido. De acordo com Marcelino *et al.* (2024), essa tecnologia gera imagens de alta resolução espacial com dose de radiação inferior à da tomografia convencional. Oliveira *et al.* (2023) ressaltam que os sistemas de TCFC são mais compactos e econômicos que os tomógrafos médicos tradicionais: custam cerca de três a cinco vezes menos, exigem menos infraestrutura (sem necessidade de piso reforçado ou ambiente especial) e oferecem resolução espacial superior, com pixels menores. Esses atributos tornam o equipamento adequado para uso em clínicas odontológicas, ampliando sua aplicabilidade.

Inovações recentes no hardware e software da TCFC têm aprimorado ainda mais seu desempenho. Tavares *et al.* (2022) relatam que desenvolvedores de software criaram ferramentas avançadas de visualização 3D para TCFC, capazes de mensurar canais radiculares automaticamente e gerar guias de instrumentação ou planejamento virtual personalizados, o que torna procedimentos como a endodontia mais previsíveis e seguros.

No âmbito do hardware, surgiram detectores de maior sensibilidade e sistemas com FOV ajustável (vistas de campo estreitas para exames odontológicos e amplas para casos cirúrgicos maiores), além de avanços em algoritmos de reconstrução iterativa que melhoram a qualidade da imagem reduzindo artefatos. Recentemente, o uso de inteligência artificial e ferramentas de pós-processamento tem melhorado o contraste e simplificado tarefas diagnósticas. Conforme Khotari *et al.* (2025), as modalidades digitais tridimensionais têm aumentado a acurácia diagnóstica e reduzido a exposição à radiação; simultaneamente, a integração da TCFC com impressão 3D e dispositivos de imagem portáteis tem expandido o acesso e a personalização no planejamento clínico. Em conjunto, essas inovações de hardware e software elevam o potencial da TCFC como ferramenta diagnóstica de alta precisão.

Em comparação aos métodos anteriores, a TCFC supera as limitações das imagens bidimensionais. Cesca, Mioranza e Anrain (2022) descrevem que radiografias convencionais apresentam sobreposição de estruturas e distorções geométricas que podem mascarar lesões ou detalhes anatômicos relevantes. A TCFC elimina essas sobreposições ao produzir cortes axiais volumétricos, permitindo visualização multiplanar e reconstrução 3D, embora exija dose de radiação maior que radiografias simples (por isso sua indicação deve ser criteriosa).

Em relação à tomografia espiral (TC) médica, Marcelino *et al.* (2024) reafirmam que a TCFC oferece maior resolução espacial para estruturas ósseas complexas, mantendo a dose de radiação substancialmente menor. Oliveira *et al.* (2023) apontam que os scanners CBCT são muito mais acessíveis e fáceis de operar: além de serem mais baratos, ocupam menos espaço e não precisam de refrigeração especial ou reforço de piso, ao contrário dos aparelhos de TC tradicionais. Tais diferenças explicam a ampla adoção da TCFC em vez da TC médica para muitos exames bucais e maxilofaciais de rotina.

Quanto às aplicações clínicas, a TCFC tem se expandido rapidamente desde suas primeiras utilizações em odontologia. Originalmente empregada em implantodontia e diagnóstico endodôntico, hoje ela é essencial em diversas especialidades: implantodontia (avaliação de sítios cirúrgicos), ortodontia (análise de vias aéreas, ATM e assimetrias faciais), cirurgia bucomaxilofacial (traumatismos e patologias ósseas) e até em otorrinolaringologia (sinusite, apneia do sono) (Silva *et al.*, 2022).

Essa expansão inclui técnicas guiadas: Oliveira Neto *et al.* (2023) enfatizam que a combinação da TCFC com escaneamento intraoral e guias tridimensionais tem democratizado a técnica, permitindo que profissionais menos experientes realizem acessos precisos a canais radiculares calcificados, reduzindo tempo de tratamento e aumentando a previsibilidade. Kulinkovych-Levchuk *et al.* (2022) afirmam que a TCFC é pilar das abordagens guiadas em endodontia, aplicável a retratamentos complexos e cirurgias periapicais, e que esse método reduz a dependência da experiência do operador. Khotari *et al.* (2025) ressaltam que essa convergência de TCFC com novas tecnologias representa uma mudança de paradigma na odontologia, elevando a precisão e eficiência dos procedimentos.

3.2 Aplicações clínicas da TCFC na Endodontia

A tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), ou *cone beam*, vem se consolidando como uma ferramenta indispensável na prática endodôntica contemporânea. Sua aplicação clínica tem permitido avanços substanciais na acurácia diagnóstica, planejamento terapêutico e previsibilidade dos procedimentos. Segundo Setzer e Lee (2021), a TCFC revolucionou a radiologia em Endodontia ao permitir visualizações tridimensionais dos tecidos duros dentários e periapicais, o que amplia consideravelmente a compreensão morfoanatômica e a identificação de lesões ocultas.

De acordo com Patel, Bhuva e Bose (2022), a TCFC possibilita uma avaliação detalhada da anatomia dos canais radiculares, especialmente em casos de canais acessórios, curvaturas complexas ou calcificações. Essa visualização é particularmente útil para o planejamento de tratamentos em dentes posteriores e em retratamentos, onde a morfologia pode ter sido alterada por intervenções anteriores. Ainda, permite melhor avaliação de reabsorções internas e externas.

Casos com anatomias radiculares difíceis, como curvaturas acentuadas, canais em formato de C, bifurcações inesperadas e calcificações severas, representam desafios significativos para a Endodontia convencional (Figura 1). A TCFC tem se mostrado essencial na identificação dessas variações morfológicas, fornecendo imagens tridimensionais que facilitam o acesso, a instrumentação e a obturação segura dos canais. Oliveira Neto *et al.* (2023) demonstraram que a visualização volumétrica detalhada evita desvios iatrogênicos e perfurações, especialmente em dentes posteriores. O uso da tomografia também tem permitido a identificação prévia de canais acessórios que, se não tratados, poderiam comprometer o prognóstico.

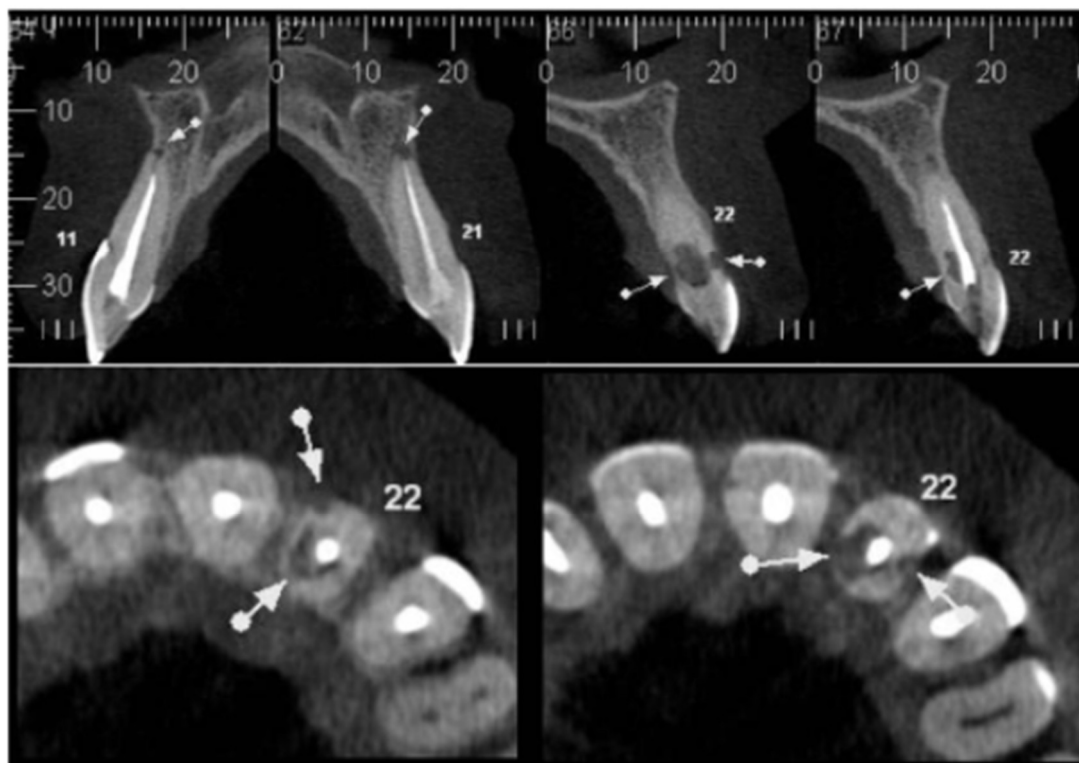
Figura 1 - Imagens de TCFC em cortes sagital, coronal e axial demonstrando dupla curvatura radicular e comparação pré e pós-tratamento endodôntico.



Fonte: Patel, Bhuva e Bose (2022).

Fontenele e Jacobs (2025) destacam que a precisão na identificação de lesões periapicais com TCFC é significativamente superior à das radiografias periapicais convencionais, especialmente na detecção de lesões limitadas ao osso medular, muitas vezes invisíveis nos exames bidimensionais (Figura 2). A sensibilidade elevada do exame contribui para diagnósticos mais precoces e intervenções mais adequadas.

Figura 2 - Cortes tomográficos obtidos por TCFC em diferentes planos evidenciando lesão periapical e comprometimento ósseo, contribuindo para o diagnóstico precoce em endodontia.



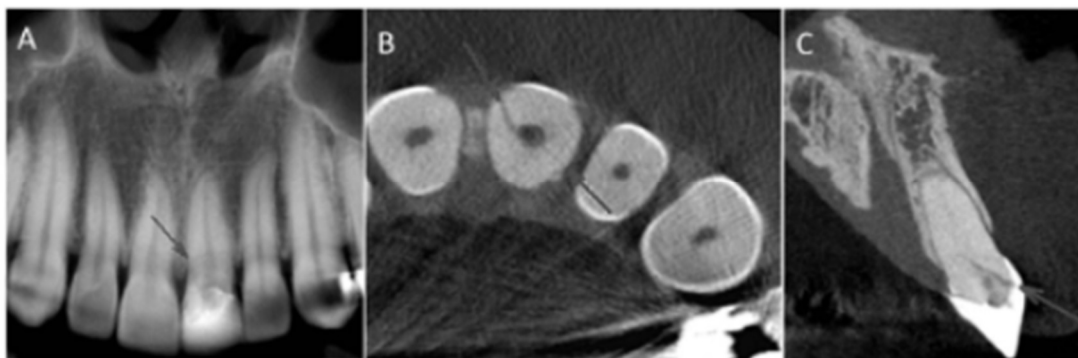
Fonte: Fontenele e Jacobs (2025).

Em relação à abordagem de reintervenções, Zanza, Reda e Testarelli (2023) ressaltam que a TCFC é indispensável na análise de tratamentos anteriores mal-sucedidos. A tecnologia permite a avaliação da qualidade da obturação, detecção de canais não tratados, fraturas radiculares e extensão de lesões periapicais. Essas informações são essenciais para a decisão entre retratamento, cirurgia paraendodôntica ou exodontia.

Em muitos casos, a TCFC não apenas identifica falhas do tratamento prévio, mas também orienta a decisão de retratar ou não um canal radicular. Chan, Brown e Parashos (2023) explicam que a tomografia tridimensional pode revelar fraturas verticais incompletas ou destruições extensas não visíveis em radiografias convencionais (Figura 3). Nessas situações, a visualização do comprometimento estrutural pode contraindicar o retratamento, redirecionando a conduta para extração ou cirurgia. Por outro lado, a constatação de canais não tratados viáveis e a

integridade da estrutura dental remanescente pode indicar a viabilidade do retratamento convencional com bom prognóstico.

Figura 3 - Reconstrução panorâmica e cortes axial e transaxial evidenciando fratura radicular por meio de TCFC.



Fonte: Patel, Bhuva e Bose (2022).

Chan, Brown e Parashos (2023) observam que a TCFC tem ampliado o entendimento sobre a patogênese de lesões periapicais, especialmente as lesões persistentes após tratamento endodôntico. A possibilidade de avaliar o estado de cicatrização ao longo do tempo com imagens 3D melhora a monitorização dos casos e embasa melhor as condutas clínicas (Chan; Brown; Parashos, 2023).

No contexto de traumatismos dentários, o uso da TCFC também se destaca. Segundo Oliveira *et al.* (2023), a identificação de fraturas radiculares, deslocamentos e lesões de reabsorção inflamatória é mais eficiente com esse método, o que contribui para um manejo mais preciso e prognóstico mais assertivo. A tridimensionalidade das imagens permite avaliar a extensão real das alterações e planejar terapias conservadoras quando viáveis.

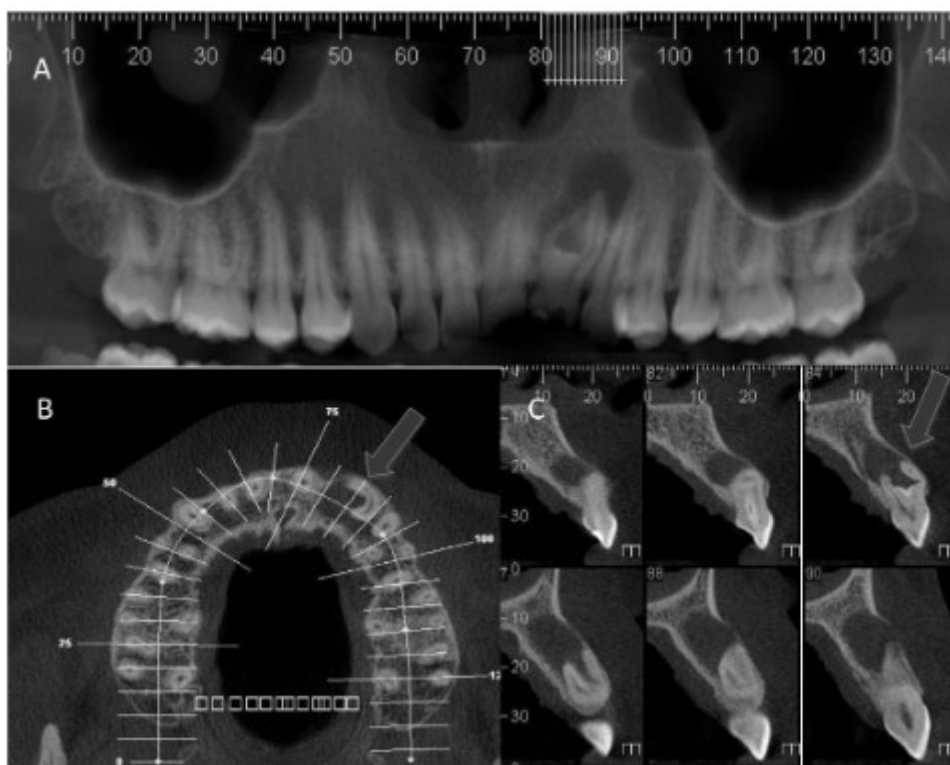
Kothari *et al.* (2025) enfatizam que a TCFC é uma aliada na localização de canais calcificados e na navegação em anatomias complexas, contribuindo para a execução de procedimentos minimamente invasivos. A tecnologia tem permitido a utilização de guias endodônticos personalizados, otimizando o acesso aos canais e reduzindo riscos iatrogênicos.

A detecção de perfurações, reabsorções cervicais invasivas e fraturas verticais também tem sido facilitada pela TCFC. De acordo com Decurcio *et al.* (2021), a correta interpretação dessas alterações é determinante para o prognóstico do dente.

A TCFC permite mensurar a extensão da destruição tecidual e, com isso, guiar a escolha de materiais e técnicas restauradoras adequadas.

Além do diagnóstico, a TCFC contribui para a segurança do procedimento ao permitir a avaliação prévia de estruturas anatômicas relevantes para o planejamento endodôntico, como o canal mandibular e o seio maxilar (Figura 4). Isso é fundamental em intervenções cirúrgicas e terapias endodônticas em áreas de proximidade anatômica crítica, conforme ressaltado por Zanza, Reda e Testarelli (2023).

Figura 4 - Reconstrução panorâmica associada a cortes tomográficos obtidos por TCFC, permitindo avaliação tridimensional de estruturas anatômicas de interesse em endodontia.



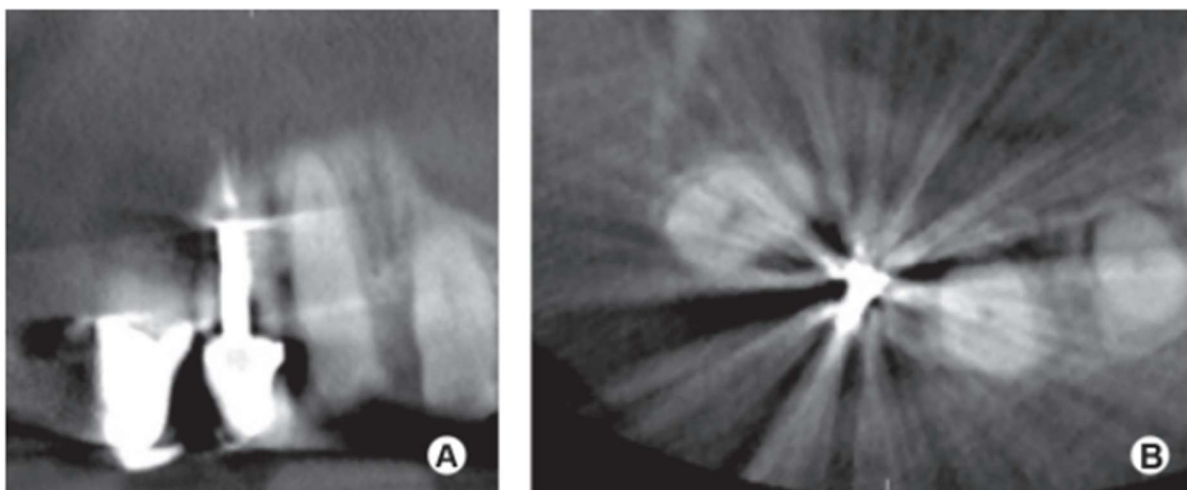
Fonte: Oliveira *et al.* (2023).

A adoção de equipamentos com campo de visão (FOV) restrito é uma recomendação constante em endodontia, sobretudo para garantir imagens mais nítidas e minimizar a exposição à radiação. Tomógrafos *cone beam* como o Morita, com FOV de 4x4 cm ou 5x5 cm, são especialmente indicados em diagnósticos endodônticos por sua alta resolução e baixa dose. Conforme apontado por Setzer e

Lee (2021), o uso de FOV pequeno permite delimitar com precisão a região de interesse e aplicar o princípio ALADA (*As Low As Diagnostically Acceptable*), integrando segurança e eficiência diagnóstica.

Como apontam Setzer e Lee (2021), a utilização da TCFC deve sempre ser guiada por critérios clínicos bem definidos, respeitando os princípios da radioproteção. Apesar de seus benefícios inegáveis, o uso indiscriminado pode expor os pacientes a doses desnecessárias de radiação (Figura 5). Portanto, o exame deve ser reservado para situações clínicas específicas em que a informação tridimensional impactará significativamente na conduta terapêutica.

Figura 5 - Cortes tomográficos em TCFC evidenciando artefatos de endurecimento do feixe (*beam hardening*) causados por pino metálico intracanal, comprometendo a qualidade da imagem.



Fonte: Patel, Bhuva e Bose (2022).

3.3 Endodontia guiada: integração da TCFC e impressão 3D

A endodontia guiada emergiu como uma resposta tecnológica às limitações enfrentadas nos tratamentos endodônticos convencionais, especialmente em casos de canais calcificados e anatomias complexas. A técnica integra imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), com a modelagem digital e a impressão 3D de guias personalizados. Ambu *et al.* (2023) relatam que essa abordagem proporciona um caminho preciso até o canal radicular, com maior previsibilidade e menor risco de perfurações.

Essa tecnologia vem sendo aplicada com destaque em incisivos inferiores obliterados, nos quais o acesso endodôntico tradicional apresenta grandes riscos. Li *et al.* (2025) demonstraram que o uso de guias impressas, planejadas a partir de imagens de TCFC, resultou em taxas significativamente mais altas de sucesso no acesso ao canal pulpar sem danos estruturais. A técnica oferece segurança adicional, especialmente em dentes com anatomia reduzida ou curvaturas acentuadas.

Além de promover acessos conservadores, a endodontia guiada permite maior reprodutibilidade em diferentes contextos clínicos. De acordo com Prabhuji *et al.* (2024), a comparação entre guias com e sem mangas metálicas demonstrou diferenças sutis em precisão, mas ambas as abordagens mostraram bons resultados clínicos. A escolha entre os modelos pode depender de fatores como custo, disponibilidade e familiaridade do operador.

A TCFC exerce papel fundamental nesse processo, uma vez que fornece imagens tridimensionais detalhadas para o planejamento digital. Ambu *et al.* (2023) ressaltam que, ao integrar essas imagens com escaneamentos intraorais ou modelos digitais, é possível desenvolver guias de alta precisão. Esse planejamento minimiza erros e contribui para um trajeto mais seguro até o canal.

A aplicabilidade da técnica também se estende a retratamentos, principalmente em dentes com obliteração pulpar secundária ou múltiplos canais não tratados. Huth *et al.* (2024) evidenciam que a combinação entre imagens de TCFC e impressão 3D permite identificar canais previamente não localizados e acessar regiões complexas de forma minimamente invasiva. Esse recurso amplia a indicação da técnica para casos de falha terapêutica.

O uso de guias endodônticos não se limita aos dentes anteriores, sendo cada vez mais empregado também em molares. Connert, Weiger e Krastl (2022) apontam que o avanço das ferramentas CAD/CAM associadas à TCFC permitiu a adaptação da técnica a dentes multirradiculares. Esse avanço tecnológico viabiliza acessos mais conservadores e reduz o tempo de tratamento.

O sucesso da técnica também está relacionado à estabilidade do guia durante a perfuração. Casadei *et al.* (2020) explicam que a adaptação correta do guia à arcada dentária, obtida com base na superposição precisa entre imagens tomográficas e escaneamentos ópticos, é essencial para a eficácia clínica. A correta ancoragem impede deslocamentos durante o uso de instrumentos rotatórios.

A endodontia guiada representa um marco no manejo de casos que anteriormente exigiam cirurgia ou extração. Loureiro *et al.* (2021) relatam que, em situações de desvio de canal ou perfuração, o planejamento digital e o uso de guias foram capazes de redirecionar o trajeto sem comprometer a integridade radicular. Isso contribui para a manutenção do dente na cavidade bucal.

Estudos observacionais têm reforçado a aplicabilidade e segurança da técnica em grande escala. Buchgreitz, Buchgreitz e Bjørndal (2019) avaliaram cinquenta pacientes tratados com guias baseadas em TCFC e varreduras ópticas e concluíram que o preparo guiado reduziu significativamente complicações como desvios, perfurações e desgaste excessivo. A técnica demonstrou consistência mesmo em mãos menos experientes.

Casos com canais obliterados em jovens pacientes também se beneficiam da técnica. Li *et al.* (2024) descreveram a aplicação da endodontia guiada em dentes permanentes imaturos com calcificação, ressaltando que o acesso minimamente invasivo proporcionado pelos guias permite preservar estrutura dentária e facilitar o selamento apical. A técnica contribui, assim, para a longevidade do elemento dental.

O planejamento tridimensional não apenas facilita o acesso, como também reduz o tempo clínico e a ansiedade do paciente. Segundo Oliveira Neto *et al.* (2023), a previsibilidade trazida pela visualização do trajeto e a execução controlada da perfuração diminuem a duração dos atendimentos e aumentam o conforto. A abordagem pode ser útil em pacientes com necessidades especiais.

A criação dos guias envolve uma sequência digital que começa com a obtenção de imagens da TCFC e a digitalização do arco dentário. Patel, Bhuvra e Bose (2022) destacam que softwares específicos são usados para alinhar as imagens e planejar virtualmente o trajeto até o canal. Após esse processo, o guia é impresso em resina biocompatível com alta precisão dimensional.

A escolha dos materiais para impressão influencia diretamente na estabilidade e na exatidão do guia durante o procedimento. Motta, Pagliosa e Scortegagna (2021) enfatizam que resinas com resistência térmica e estabilidade dimensional são preferidas, pois mantêm a precisão do trajeto mesmo sob forças rotatórias. A durabilidade desses materiais também permite reutilização em múltiplas etapas do tratamento.

Outro fator relevante é a utilização de sistemas de navegação dinâmica que, embora mais recentes, têm se apresentado como alternativas promissoras. Connert

et al. (2018) argumentam que essas ferramentas, que eliminam a necessidade do guia físico, utilizam softwares para orientar em tempo real o posicionamento do instrumento durante o acesso. A técnica, no entanto, exige maior treinamento e infraestrutura.

Em relação à preservação da estrutura dentária, a endodontia guiada demonstra importante vantagem. Connert *et al.* (2017) mostraram que, ao permitir um acesso direto e com menor diâmetro, há uma menor perda de tecido dentinário, o que impacta positivamente na resistência do dente a fraturas após o tratamento. Isso reforça a proposta de terapias minimamente invasivas.

Zanza, Reda e Testarelli (2023) enfatizam que a técnica também facilita a localização de canais acessórios ou canais com curvaturas iniciais, difíceis de serem detectados pela via convencional. A TCFC fornece uma base tridimensional que orienta a escolha da melhor trajetória para o instrumento, aumentando a taxa de sucesso terapêutico.

Oliveira *et al.* (2023) observaram que a técnica guiada pode ser incorporada ao ensino clínico da Endodontia, funcionando como estratégia de aprendizado para alunos em formação. A padronização do acesso promove segurança ao operador e contribui para o desenvolvimento da habilidade visual espacial necessária ao planejamento endodôntico.

Fontenele e Jacobs (2025) discutem ainda a expansão do uso das guias para além do acesso, incluindo planejamento de cirurgias apicais, diagnóstico de reabsorções radiculares externas e avaliação prévia de canais com trajetos atípicos. A versatilidade da técnica reforça seu papel como ferramenta complementar na prática endodôntica moderna.

Já Kothari *et al.* (2025) concluem que a integração entre imagem tridimensional e impressão 3D promove uma revolução no manejo dos casos considerados anteriormente intratáveis. A TCFC atua como centro do planejamento, enquanto a impressão 3D executa a conexão entre teoria e prática, tornando tangível o acesso guiado e preciso ao canal radicular. O futuro aponta para uma Endodontia mais previsível, conservadora e centrada no paciente.

3.4 Navegação dinâmica e perspectivas futuras

A navegação dinâmica em endodontia representa uma das inovações mais promissoras da odontologia digital contemporânea. Segundo Vasudevan *et al.* (2022),

essa tecnologia surge como uma evolução dos métodos guiados estáticos, introduzindo maior precisão, flexibilidade e controle durante o acesso ao canal radicular. Diferentemente das guias impressas em 3D, a navegação dinâmica utiliza um sistema computadorizado que rastreia em tempo real a posição da broca e a orienta conforme o planejamento virtual. Esse processo permite intervenções minimamente invasivas e altamente personalizadas, preservando a estrutura dentária e reduzindo o risco de iatrogenias.

O funcionamento do sistema baseia-se na fusão de imagens obtidas pela tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) com a digitalização intraoral. Huth *et al.* (2024) descrevem que, após a importação desses dados, o software estabelece um planejamento virtual tridimensional, determinando o trajeto ideal para o instrumento rotatório. Durante o procedimento, câmeras ópticas monitoram marcadores instalados no paciente e na peça de mão, permitindo ao operador visualizar a posição e o ângulo da broca em tempo real na tela do computador. Essa sincronização dinâmica elimina a necessidade de guias físicas e confere liberdade operatória sem comprometer a precisão.

Entre as principais vantagens da navegação dinâmica destaca-se a redução significativa da perda de estrutura dentária. Segundo Hegde *et al.* (2024), esse método otimiza a geometria de acesso, evitando ampliações desnecessárias e preservando a resistência do dente tratado. A navegação em tempo real também reduz o número de tentativas de perfuração, uma vez que o operador acompanha constantemente o trajeto virtual. Essa característica torna o método especialmente útil em dentes com canais calcificados ou em anatomias radiculares complexas, onde a margem de erro é mínima.

O potencial da técnica foi confirmado por Hildebrand *et al.* (2025) em estudo comparativo entre cavidades de acesso realizadas por navegação dinâmica e técnicas livres. Os autores constataram que o desvio angular médio das perfurações com navegação foi de apenas 2,4°, enquanto os procedimentos manuais ultrapassaram 9°, evidenciando a superioridade em termos de precisão geométrica. Observou-se menor desgaste dentinário e menor taxa de perfuração, reforçando o caráter conservador e seguro da abordagem dinâmica em relação aos métodos convencionais.

Outra contribuição relevante da navegação dinâmica é a previsibilidade no planejamento e execução dos procedimentos endodônticos. Li *et al.* (2025) destacam que essa tecnologia assegura maior correspondência entre o trajeto planejado

virtualmente e a execução clínica real. A integração direta entre os dados tomográficos e o sistema de rastreamento elimina erros de superposição que podem ocorrer na confecção de guias estáticas. Essa precisão é fundamental em casos de calcificações severas, canais estreitos ou curvos, e na reabilitação de dentes com histórico de intervenções anteriores.

A literatura recente demonstra que a navegação dinâmica tem se mostrado especialmente eficaz em situações de obliteração pulpar. Li *et al.* (2025) relataram, em ensaio clínico randomizado, que o desvio médio de broca ao atingir o canal obliterado foi de apenas 0,35 mm, com precisão superior à obtida na técnica livre. Essa acurácia permite alcançar o canal sem causar perfurações ou perda estrutural significativa, o que amplia as possibilidades terapêuticas e o sucesso do tratamento em casos considerados complexos ou de difícil acesso.

Além de sua precisão, a técnica apresenta vantagens ergonômicas e operacionais. Segundo Huth *et al.* (2024), a ausência de guias físicas permite melhor visibilidade do campo operatório, manutenção do isolamento absoluto e irrigação adequada durante o procedimento. O cirurgião-dentista pode ajustar o trajeto conforme a resistência dentinária percebida, sem comprometer a segurança. Essa flexibilidade transforma a navegação dinâmica em uma ferramenta adaptável a diferentes cenários clínicos, desde incisivos com obliteração até molares multirradiculares.

O avanço tecnológico também favorece a personalização do tratamento. De acordo com Ambu *et al.* (2023), o planejamento digital aliado à navegação dinâmica possibilita a elaboração de trajetos específicos para cada dente, respeitando a variação anatômica individual. Essa abordagem sob medida é particularmente vantajosa em pacientes com deformidades radiculares, calcificações apicais extensas ou retratamentos complexos. A precisão milimétrica contribui para a preservação da vitalidade do dente e aumenta a longevidade do tratamento.

Outra aplicação crescente da navegação dinâmica está na endodontia cirúrgica. Spirito *et al.* (2025) verificaram, em revisão sistemática, que o uso dessa tecnologia em cirurgias periapicais resultou em desvios médios inferiores a 1,2 mm, com alta taxa de sucesso na ressecção apical e menor risco de danos às estruturas adjacentes. A orientação em tempo real permite delimitar o campo operatório com segurança, especialmente em regiões próximas ao seio maxilar ou ao nervo alveolar inferior. Essa ampliação de aplicações evidencia a versatilidade da tecnologia.

Embora a navegação dinâmica ainda exija treinamento técnico, estudos recentes indicam que a curva de aprendizado é compensada pela precisão obtida. Hegde *et al.* (2024) apontam que, após poucas simulações, os operadores atingem alta reprodutibilidade nos resultados, mesmo sem ampla experiência prévia. Esse aspecto democratiza o uso da técnica, permitindo que profissionais em formação utilizem a ferramenta como recurso didático e clínico, o que reforça seu papel transformador no ensino da endodontia moderna.

A comparação direta entre as técnicas estática e dinâmica tem demonstrado que ambas são eficazes, mas a navegação dinâmica supera limitações relacionadas à adaptação do guia e à necessidade de fabricação prévia. Huth *et al.* (2024) observaram que os erros de posicionamento decorrentes de má adaptação do guia, comuns na técnica estática, são praticamente eliminados na navegação dinâmica. O operador pode modificar o trajeto durante o procedimento, ajustando o ângulo de inserção conforme a resposta clínica, algo inviável nos guias físicos.

Em relação ao tempo de execução, Hildebrand *et al.* (2025) constataram que os procedimentos realizados com navegação dinâmica demandam maior duração inicial, mas resultam em menor número de erros e retrabalhos. Essa compensação demonstra que, embora a técnica seja mais demorada, ela proporciona eficiência global superior, reduzindo a necessidade de correções posteriores. Assim, o tempo adicional é compensado pela segurança e pela previsibilidade dos resultados clínicos obtidos.

O impacto da navegação dinâmica também se estende à redução do estresse clínico do operador. Laurindo *et al.* (2024) ressaltam que o feedback visual contínuo proporciona maior confiança ao cirurgião-dentista, permitindo controle total sobre o posicionamento da broca. Essa segurança operacional reduz o risco de complicações, melhora o desempenho clínico e favorece o atendimento de pacientes com anatomias complexas ou condições especiais, como canais estreitos e calcificados.

A incorporação de inteligência artificial (IA) representa uma das perspectivas mais promissoras para o futuro da navegação dinâmica. Fontenele e Jacobs (2025) apontam que algoritmos de IA já são capazes de segmentar automaticamente canais radiculares em imagens de TCFC, otimizando o planejamento virtual e reduzindo o tempo de calibração. Essa automação deve evoluir para sistemas de orientação semi-autônoma, em que o software ajustará em tempo real a trajetória do instrumento com base na densidade dentinária e nas imagens obtidas durante o procedimento.

Outra tendência emergente é a integração da navegação dinâmica com tecnologias de realidade aumentada e visualização 3D imersiva. Segundo Hegde *et al.* (2024), a combinação desses recursos permitirá que o operador visualize simultaneamente o campo clínico e o planejamento virtual por meio de óculos inteligentes, eliminando a necessidade de olhar para uma tela externa. Essa integração aprimorará a ergonomia e reduzirá a dependência de assistentes técnicos, tornando o procedimento mais fluido e preciso.

Do ponto de vista clínico, o desenvolvimento de sistemas portáteis e economicamente acessíveis é fundamental para a popularização da navegação dinâmica. Li *et al.* (2024) destacam que a miniaturização dos sensores e o avanço das câmeras ópticas tendem a reduzir os custos, viabilizando o uso da tecnologia em consultórios de pequeno porte. Essa democratização tecnológica amplia o acesso a tratamentos mais seguros e previsíveis, especialmente em regiões onde a infraestrutura de impressão 3D ainda é limitada.

Apesar dos benefícios, desafios persistem quanto à padronização dos protocolos e à calibração inter sistema. Spirito *et al.* (2025) observam que diferenças entre softwares e câmeras podem gerar pequenas discrepâncias na correspondência entre o modelo virtual e a realidade clínica. A busca por protocolos universais e sistemas interoperáveis é um dos objetivos atuais da pesquisa em odontologia digital, visando à consolidação da navegação dinâmica como prática clínica rotineira.

Outro desafio importante refere-se à necessidade de validação clínica em larga escala. Hegde *et al.* (2024) enfatizam que grande parte das evidências ainda deriva de estudos laboratoriais ou séries de casos, havendo carência de ensaios clínicos controlados com longo período de acompanhamento. A obtenção desses dados é essencial para comprovar a durabilidade e o impacto funcional dos tratamentos realizados sob navegação dinâmica, permitindo a formulação de diretrizes baseadas em evidências.

No campo educacional, a navegação dinâmica tende a se tornar um instrumento indispensável para o ensino da endodontia. Laurindo *et al.* (2024) argumentam que a simulação digital de procedimentos com feedback em tempo real favorece o aprendizado anatômico e o desenvolvimento da coordenação visuoespacial dos estudantes. A utilização da tecnologia em ambientes acadêmicos pode formar profissionais mais seguros e capacitados para lidar com casos clínicos complexos e de alta exigência técnica.

A convergência entre navegação dinâmica, inteligência artificial e realidade aumentada projeta uma nova era para a endodontia digital. Huth *et al.* (2024) sugerem que, no futuro, os sistemas poderão executar trajetórias automatizadas com supervisão humana, associando precisão robótica à sensibilidade clínica do operador. Essa integração inaugura o conceito de endodontia inteligente, em que o profissional atua como condutor de um processo híbrido, combinando ciência de dados, tecnologia e habilidade humana em favor de tratamentos mais conservadores, eficientes e previsíveis.

4 DISCUSSÃO

A análise dos estudos incluídos nesta revisão evidencia que a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) tem se consolidado como uma ferramenta fundamental na endodontia contemporânea, especialmente no que se refere à melhoria da acurácia diagnóstica e ao planejamento terapêutico. Os achados de Setzer e Lee (2021) e Patel, Bhuvu e Bose (2022) convergem ao demonstrar que a visualização tridimensional proporcionada pela TCFC amplia significativamente a compreensão da anatomia radicular, permitindo a identificação de canais acessórios, curvaturas e alterações estruturais que frequentemente não são detectadas por radiografias convencionais. Esses resultados corroboram os apontamentos de Cesca, Mioranza e Anrain (2022), que destacam as limitações das imagens bidimensionais, especialmente em relação à sobreposição de estruturas.

No que se refere à detecção de lesões periapicais, os estudos analisados apresentam consenso quanto à superioridade da TCFC em comparação aos métodos tradicionais. Fontenele e Jacobs (2025) evidenciam maior sensibilidade diagnóstica, principalmente em lesões iniciais restritas ao osso medular, o que também é observado por Chan, Brown e Parashos (2023), ao discutirem a contribuição da TCFC na compreensão da persistência de lesões após tratamento endodôntico. Esses achados indicam que a tecnologia não apenas aprimora o diagnóstico inicial, mas também contribui para o acompanhamento evolutivo dos casos, ampliando a segurança na tomada de decisão clínica.

Em relação aos retratamentos endodônticos, há concordância entre Zanza, Reda e Testarelli (2023) e Chan, Brown e Parashos (2023) quanto ao papel determinante da TCFC na identificação de falhas terapêuticas, como canais não tratados, fraturas radiculares e inadequações na obturação. No entanto, esses autores também destacam que, em alguns casos, a própria TCFC pode indicar a inviabilidade do retratamento, direcionando a conduta para procedimentos cirúrgicos ou exodontia. Esse aspecto demonstra que a tecnologia não apenas amplia as possibilidades terapêuticas, mas também contribui para decisões mais criteriosas e baseadas em evidências.

No contexto da endodontia guiada, os estudos analisados apresentam resultados amplamente convergentes quanto à eficácia da integração entre TCFC e impressão 3D. Ambu *et al.* (2023) e Li *et al.* (2025) demonstram que o uso de guias

personalizados aumenta a precisão no acesso a canais calcificados, reduzindo significativamente o risco de perfurações. Esses achados são reforçados por Buchgreitz, Buchgreitz e Bjørndal (2019), que observaram redução de complicações em pacientes tratados com técnicas guiadas. Em consonância, Oliveira Neto *et al.* (2023) destacam a previsibilidade do método, inclusive quando aplicado por profissionais com menor experiência, indicando um processo de democratização tecnológica na prática endodôntica.

Apesar dos benefícios evidenciados, alguns estudos apontam limitações importantes relacionadas à técnica guiada estática. Tavares *et al.* (2022) relatam que erros podem ocorrer devido à imprecisão na fusão de imagens ou à inadequada adaptação do guia, o que pode resultar em desvios ou perfurações. Esse posicionamento é corroborado por Connert, Weiger e Krastl (2022), que ressaltam a necessidade de mais estudos clínicos comparativos para padronização dos protocolos. Esses dados indicam que, embora promissora, a técnica ainda apresenta dependência de fatores técnicos e operacionais que podem impactar seus resultados.

Nesse cenário, a navegação dinâmica surge como uma alternativa relevante, apresentando vantagens em relação à técnica estática. Vasudevan *et al.* (2022) e Huth *et al.* (2024) destacam que o feedback em tempo real permite maior controle durante o procedimento, reduzindo erros relacionados ao posicionamento. Hildebrand *et al.* (2025) reforçam essa superioridade ao demonstrar menor desvio angular em comparação às técnicas convencionais. Entretanto, há divergências quanto à aplicabilidade imediata dessa tecnologia, uma vez que Hegde *et al.* (2024) apontam a necessidade de treinamento específico e maior custo operacional como fatores limitantes para sua ampla adoção.

Outro ponto relevante refere-se à preservação da estrutura dentária. Connert *et al.* (2017) demonstram que a endodontia guiada permite acessos mais conservadores, reduzindo a perda de dentina e aumentando a resistência do dente tratado. Esse achado é corroborado por Hegde *et al.* (2024), que associam a navegação dinâmica à redução do desgaste desnecessário. Esses resultados indicam uma tendência crescente da endodontia em direção a abordagens minimamente invasivas, alinhadas aos princípios da odontologia moderna.

No que diz respeito às perspectivas futuras, os estudos apontam para a integração crescente entre TCFC, inteligência artificial e realidade aumentada. Fontenele e Jacobs (2025) destacam o potencial da inteligência artificial na

segmentação automática de canais radiculares, enquanto Hegde *et al.* (2024) discutem a possibilidade de visualização imersiva durante os procedimentos. Contudo, Spirito *et al.* (2025) alertam para a necessidade de validação clínica em larga escala, evidenciando que muitas dessas inovações ainda se encontram em fase de consolidação científica.

De modo geral, os estudos analisados apresentam forte concordância quanto aos benefícios da TCFC na endodontia, especialmente no aumento da precisão diagnóstica, na melhoria do planejamento e na redução de complicações. Entretanto, divergências persistem quanto à padronização das técnicas guiadas e à viabilidade da navegação dinâmica em diferentes contextos clínicos. Tais achados evidenciam que, embora a tecnologia tenha promovido avanços significativos, ainda há necessidade de pesquisas adicionais que consolidem protocolos clínicos e ampliem a aplicabilidade dessas ferramentas na prática odontológica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A TCFC se consolidou como uma ferramenta de elevada relevância na prática endodôntica contemporânea, especialmente por possibilitar a visualização tridimensional das estruturas dentárias e periapicais, superando limitações inerentes aos métodos radiográficos bidimensionais.

Os achados evidenciam que a utilização da TCFC contribui de maneira significativa para o aumento da acurácia diagnóstica, permitindo a identificação de variações anatômicas, canais acessórios, fraturas radiculares e lesões periapicais com maior precisão. Essa capacidade diagnóstica ampliada reflete diretamente no planejamento terapêutico, favorecendo condutas mais seguras, previsíveis e conservadoras. No contexto dos retratamentos endodônticos, a tecnologia mostrou-se determinante na avaliação de falhas prévias e na definição da viabilidade de novas intervenções.

No que se refere à endodontia guiada, a integração entre TCFC, *softwares* de planejamento digital e impressão 3D demonstrou resultados promissores, especialmente em casos de canais calcificados e anatomias complexas. A literatura aponta que essa abordagem reduz significativamente o risco de iatrogenias, melhora a precisão do acesso ao canal radicular e amplia as possibilidades terapêuticas, inclusive em situações anteriormente consideradas de difícil resolução. De modo complementar, a navegação dinâmica emerge como uma evolução tecnológica, oferecendo maior flexibilidade operatória e controle em tempo real, ainda que demande maior investimento e capacitação técnica.

Apesar dos avanços evidenciados, observam-se limitações relacionadas à necessidade de padronização dos protocolos clínicos, à variabilidade entre sistemas tecnológicos e à escassez de estudos clínicos de longo prazo. Também se destaca a importância do uso criterioso da TCFC, em consonância com os princípios de radioproteção, considerando a exposição à radiação e a necessidade de justificativa clínica para sua indicação.

Nota-se que a TCFC representa um recurso indispensável para a endodontia moderna, atuando não apenas como ferramenta diagnóstica, mas como elemento central no planejamento e execução de procedimentos minimamente invasivos. No entanto, seu pleno potencial ainda depende da consolidação de evidências científicas mais robustas e da ampliação do acesso às tecnologias associadas.

Como perspectivas futuras, sugere-se o desenvolvimento de estudos clínicos controlados que avaliem a eficácia a longo prazo das técnicas guiadas e da navegação dinâmica, bem como a investigação da integração entre TCFC, inteligência artificial e realidade aumentada no contexto endodôntico. Essas inovações tendem a promover uma odontologia cada vez mais personalizada, precisa e centrada no paciente, abrindo novas possibilidades de pesquisa e aprimoramento das práticas clínicas.

REFERÊNCIAS

- AMBU, Emanuele *et al.* Influence of Calcified Canals Localization on the Accuracy of Guided Endodontic Therapy: A Case Series Study. **Dent J.**, [s.l.], v. 11, n. 8, p. 183-195, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-6767/11/8/183#:~:text=position%20in%20the%20lower%20arch,phase%20by%20about%2015%20times>. Acesso em: 04 nov. 2025.
- BUCHGREITZ, Jørgen; BUCHGREITZ, Mikkel; LARS, Bjør. Guided Endodontics Modified for Treating Molars by Using an Intracoronar Guide Technique. **Journal of Endodontics**, v. 45, n. 6, p. 818-823, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S009923991930250X>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- CASADEI Bruna de Athaide *et al.* Acesso à trajetória original do canal após desvio e perfuração com assistência endodôntica guiada. **Aust Endod J.**, v. 46, n. 1, p. 101-106, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31267636/>. Acesso em: 03 set. 2025.
- CESCA, Amanda dos Santos; MIORANZA, Deisy Marlen; ANRAIN, Barbara Cristina Anrain. Aplicabilidade da tomografia computadorizada de feixe cônico na odontologia: revisão de literatura. **Revista Uningá**, [s.l.], v. 59, eUJ3763, 2022. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uninga/article/download/3763/2608/15211>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- CHAN, F.; BROWN, L. F.; PARASHOS, P. CBCT in contemporary endodontics. **Australian Dental Journal**, [s.l.], v. 68, n. 1, p. 39-55, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/adj.12995>. Acesso em: 09 out. 2025.
- CONNERT, Thomás; WEIGER, Roland; KRASTL, Gabriel. Present status and future directions - Guided endodontics. **Int Endod J.**, [s.l.], v. 55, supl. 4, p. 995-1002, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35075661/>. Acesso em: 03 set. 2025.
- CONNERT, Thomas *et al.* Microguided endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique. **International Endodontic Journal**, v. 50, n. 10, p. 966–973, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/iej.12809>. Acesso em: 11 out. 2025.
- DECURCIO, Daniel A. *et al.* Digital Planning on Guided Endodontics Technology. **Braz. Dent. J.**, [s.l.], v. 32, n. 5, p. 23-33, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bdj/a/CRGb7rZhDfQQ9Zy7DC4Tjth/?lang=en>. Acesso em: 30 set. 2025.
- FONTENELE, Rocharles Cavalcante; JACOBS, Reinhilde. Unveiling the power of artificial intelligence for image-based diagnosis and treatment in endodontics: An ally or adversary? **Int Endod J.**, [s.l.], v. 58, p. 155–170, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11715142/pdf/IEJ-58-155.pdf>. Acesso em: 28 set. 2025.

HEGDE, Vivek *et al.* Dynamic navigation in endodontics: A comprehensive literature review. **J Conserv Dent Endod**, [s.l.], v. 27, n.1, p. 1202-1210, 2024. Disponível em: https://journals.lww.com/jcde/fulltext/2024/27120/dynamic_navigation_in_endodontics__a_comprehensive.2.aspx#:~:text=,training%2C%20facilitating%20intuitive%20instrument%20navigation. Acesso em: 04 nov. 2025.

HILDEBRAND, Hauke *et al.* Real-time guided endodontics versus conventional freehand access cavity preparation by a specialist– an ex vivo comparative study. **Clinical Oral Investigations**, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 232-240, 2025. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11978540/pdf/784_2025_Article_6310.pdf. Acesso em: 04 nov. 2025.

HUTH, Karin Christine *et al.* Comparing accuracy in guided endodontics: dynamic real-time navigation, static guides, and manual approaches for access cavity preparation – an in vitro study using 3D printed teeth. **Clinical Oral Investigations**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 212-221, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38480541/#:~:text=and%20operator%20effects%20were%20analyzed,squared%20statistic>. Acesso em: 04 nov. 2025.

KOTHARI, Shreya *et al.* Artificial Intelligence-Enabled CBCT Analysis: A Game-Changer for Dental Implant Optimization. **Acta Scientific Dental Sciences**, [s.l.], v. 9, n. 7, p. 15-17, 2025. Disponível em: <https://actascientific.com/ASDS/pdf/ASDS-09-2027.pdf>. Acesso em: 09 out. 2025.

KULINKOVYCH-LEVCHUK, Kateryna *et al.* Guided Endodontics: A Literature Review. **Int J Environ Res Public Health**, [s.l.], v. 19, n. 21, p. 01-17, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36360780/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LAURINDO, Maysa Gaudereto *et al.* Endodontia guiada por tomografia computadorizada de feixe cônico: aplicações clínicas e direções futuras. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 19, n. 54, p. 01-10, 2024. Disponível em: <https://unifoa.emnuvens.com.br/cadernos/article/view/4466/3296>. Acesso em: 04 nov. 2025.

LI, Jiayang *et al.* Accuracy of static-guided endodontics for access cavity preparation with pulp canal obliteration: a randomized controlled clinical trial. **BMC Oral Health**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 933-943, 2025. Disponível em: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-025-06275-w#:~:text=All%20participants%20were%20randomly%20assigned,0.05>. Acesso em: 04 nov. 2025.

LI, Mingming *et al.* Application of personalized templates in minimally invasive management of coronal dens invaginatus: a report of two cases. **BMC Oral Health**, [s.l.], v. 24, n. 1, p. 592-601, 2024. Disponível em: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-024-04377-5#:~:text=applied.%20Cone,revealed%20favorable%20clinical%20and%20radiographic>. Acesso em: 04 nov. 2025.

LOUREIRO, Marco Antonio Z. *et al.* Guided endodontics: The impact of new technologies on complex case solution. **Aust Endod J.**, [s.l.], v. 47, n. 3, p. 664-671, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33660403/>. Acesso em: 03 set. 2025.

MARCELINO, William Max do Nascimento *et al.* O uso da tomografia computadorizada de feixe cônico como um método eficaz para avaliação de fraturas radiculares: uma revisão da literatura. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, [s.l.], v. 6, n. 3, p. 2841-2851, 2024. Disponível em: <https://bjhs.emnuvens.com.br/bjhs/article/view/1796>. Acesso em: 11 set. 2025.

OLIVEIRA NETO, Raimundo Sales de *et al.* Guided endodontics: an updated literature review. **RSBO**, [s.l.], v. 20, n. 2, p. 420-426, 2023. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003166529>. Acesso em: 05 set. 2025.

OLIVEIRA, Lucas Roberto Lelis Botelho de *et al.* Articulação temporomandibular: da anatomia ao desarranjo interno. **Radiol Bras**, [s.l.], v. 56, n. 2, p. 102–109, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10165975/pdf/rb-56-02-0102.pdf>. Acesso em 10 out. 2025.

PATEL, Shanon; BHUVA, Bhavin; BOSE, Rahul. Present status and future directions: vertical root fractures in root filled teeth. **Int Endod J.**, v. 55, n. 3, p. 804–826, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9324143/pdf/IEJ-55-804.pdf>. Acesso em: 13 set. 2025.

PRABHUJI, Varun *et al.* Comparative evaluation of efficacy of guided endodontic technique with and without sleeve for access cavity preparation: An In Vitro study. **Journal of Oral Biology and Craniofacial Research**, [s.l.], v. 14, n. 6, p. 825-829, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221242682400160X?via%3Dihub>. Acesso em: 04 nov. 2025.

SETZER, Frank C.; LEE, Su-Min. Radiology in Endodontics. **Dent Clin N Am**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 01-12, 2021. Disponível em: <https://tec2-endo.de/wp-content/uploads/2025/06/Setzer-Lee-DNCA-2021-Radiology-in-Endo.pdf>. Acesso em: 02 out. 2025.

SILVA, Rita de Cássia Pereira *et al.* Aplicações clínicas da tomografia computadorizada *cone beam* na endodontia: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, n. 1, e21211124895, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/24895/21803/292814>. Acesso em: 12 ago. 2025.

SPIRITO, Federica Di *et al.* Dynamic Navigation in Endodontic Surgery: A Systematic Review. **Healthcare**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 2151-2190, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9032/13/17/2151#:~:text=deflection,current%20evidence%20is%20still%20limited>. Acesso em: 04 nov. 2025.

TAVARES, Warley Luciano Fonseca *et al.* Limitações e gerenciamento de

endodontia guiada por estática. **J Endod**, [s.l.], v. 48, n. 2, p. 273-279, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34801590/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

VASUDEVAN, Aishwarya *et al.* Dynamic Navigation in Guided Endodontics – A Systematic Review. **Eur Endod J**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 81-91, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35786584/>. Acesso em: 10 set. 2025.

ZANZA, Alessio; REDA, Rodolfo, TESTARELLI, Luca. Endodontic Orthograde Retreatments: Challenges and Solutions. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry**, [s.l.], v. 15, p. 245–265, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10612510/pdf/ccide-15-245.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.