

TECNOLOGIAS DIGITAIS NA ODONTOLOGIA: APLICAÇÕES DO FLUXO DIGITAL NA REABILITAÇÃO ORAL CONTEMPORÂNEA

DIGITAL TECHNOLOGIES IN DENTISTRY: APPLICATIONS OF DIGITAL
WORKFLOW IN CONTEMPORARY ORAL REHABILITATION

Ciências Biológicas, Ciências da Saúde • 26/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/782439238](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/782439238)

Roberto Xavier Motta¹

Aimee Maria Guiotti²

Werônica Jaernevay Silveira Mitterhofer³

Francilena Maria Campos Santos Dias⁴

Alice Carvalho Silva⁵

Juliana Carolina da Silva Soares⁶

Tatiana Elenice Cordeiro Soares⁷

RESUMO

A incorporação de tecnologias digitais tem promovido transformações significativas nos processos clínicos e laboratoriais da odontologia contemporânea, especialmente no campo da reabilitação oral. O fluxo digital, fundamentado na integração entre escaneamento intraoral, fotografias digitais, tomografia computadorizada de feixe cônico, softwares de planejamento virtual, sistemas CAD/CAM, manufatura subtrativa, manufatura aditiva, desenho digital do sorriso e inteligência artificial, tem ampliado as possibilidades diagnósticas e terapêuticas, proporcionando maior previsibilidade, precisão e eficiência nos tratamentos reabilitadores. Este artigo tem como objetivo analisar as principais aplicações dessas tecnologias na prática odontológica atual, discutindo seus impactos sobre a qualidade dos procedimentos restauradores, a comunicação entre profissionais e pacientes, a integração entre clínica e laboratório e a otimização do tempo clínico. Trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa, exploratória e bibliográfica, fundamentada em revisão da literatura científica sobre odontologia digital, reabilitação oral, prótese dentária, implantodontia, escaneamento intraoral, CAD/CAM, impressão 3D e planejamento virtual. Os resultados indicam que o fluxo digital representa uma mudança paradigmática na reabilitação oral, ao permitir maior padronização de etapas, redução de distorções associadas a procedimentos convencionais, armazenamento de dados digitais, melhor comunicação interdisciplinar e personalização dos tratamentos. Entretanto, persistem desafios relacionados aos custos de implementação, à curva de aprendizagem, à atualização tecnológica contínua, à interoperabilidade entre sistemas, à proteção de dados, à validação clínica de materiais e à necessidade de formação profissional. Conclui-se que a transformação digital tem consolidado novas perspectivas para a prática clínica odontológica,

fortalecendo a integração entre inovação tecnológica, odontologia baseada em evidências e excelência assistencial.

Palavras-chave: Fluxo digital; reabilitação oral; odontologia digital; CAD/CAM; escaneamento intraoral; inovação tecnológica em saúde bucal.

ABSTRACT

The incorporation of digital technologies has promoted significant transformations in clinical and laboratory processes in contemporary dentistry, especially in the field of oral rehabilitation. The digital workflow, based on the integration of intraoral scanning, digital photography, cone-beam computed tomography, virtual planning software, CAD/CAM systems, subtractive manufacturing, additive manufacturing, digital smile design, and artificial intelligence, has expanded diagnostic and therapeutic possibilities, providing greater predictability, precision, and efficiency in rehabilitative treatments. This article aims to analyze the main applications of these technologies in current dental practice, discussing their impacts on the quality of restorative procedures, communication between professionals and patients, integration between clinic and laboratory, and optimization of clinical time. This is a qualitative, exploratory, and bibliographic study, based on a review of the scientific literature on digital dentistry, oral rehabilitation, prosthodontics, implant dentistry, intraoral scanning, CAD/CAM, 3D printing, and virtual treatment planning. The results indicate that the digital workflow represents a paradigmatic change in oral rehabilitation by enabling greater standardization of clinical steps, reduction of distortions associated with conventional procedures, digital data storage, improved interdisciplinary communication, and personalization of treatments. However, challenges remain regarding implementation costs, learning curve, continuous technological updating,

interoperability between systems, data protection, clinical validation of materials, and professional training. The article concludes that digital transformation has consolidated new perspectives for dental clinical practice, strengthening the integration between technological innovation, evidence-based dentistry, and care excellence.

Keywords: Digital workflow; oral rehabilitation; digital dentistry; CAD/CAM; intraoral scanning; technological innovation in oral health.

1. INTRODUÇÃO

A odontologia contemporânea passa por um processo acelerado de transformação tecnológica. A incorporação de ferramentas digitais modificou profundamente a forma como o cirurgião-dentista diagnostica, planeja, executa e acompanha tratamentos reabilitadores. Procedimentos que antes dependiam exclusivamente de moldagens convencionais, modelos de gesso, enceramentos manuais, articuladores físicos e comunicação laboratorial baseada em registros analógicos passaram a contar com recursos digitais capazes de ampliar precisão, previsibilidade, documentação, comunicação e eficiência clínica.

A reabilitação oral é uma das áreas mais impactadas por essa transformação. Por envolver planejamento estético, funcional, oclusal, periodontal, protético e, muitas vezes, cirúrgico, a reabilitação exige integração de múltiplas informações clínicas. O fluxo digital possibilita reunir dados provenientes de escaneamento intraoral, fotografias, radiografias, tomografia computadorizada de feixe cônico, escaneamento facial, registros oclusais digitais e softwares de desenho protético. A partir desses dados, torna-se possível planejar restaurações, próteses, guias cirúrgicos, provisórios,

mock-ups e dispositivos personalizados com maior controle das etapas.

O termo fluxo digital refere-se ao conjunto de procedimentos digitais integrados que organizam a trajetória clínica desde a aquisição de dados até a produção final da restauração ou prótese. Esse fluxo pode envolver escaneamento intraoral, desenho assistido por computador, manufatura assistida por computador, impressão 3D, fresagem, planejamento virtual de implantes, desenho digital do sorriso e comunicação remota entre clínica e laboratório. Seu uso pode ocorrer de forma total, quando todas as etapas são digitais, ou híbrida, quando etapas digitais e convencionais são combinadas.

A literatura sobre odontologia digital aponta que a tecnologia CAD/CAM não é recente, mas sua difusão clínica ampliou-se intensamente nas últimas décadas. Miyazaki et al. (2009) destacam que os sistemas CAD/CAM evoluíram a partir de avanços em captura de imagem, softwares de desenho e materiais restauradores. Beuer, Schweiger e Edelhoff (2008) já observavam que a odontologia digital alterava a confecção de restaurações indiretas, oferecendo novas possibilidades para coroas, facetas, inlays, onlays, pontes e próteses implantossuportadas.

A evolução dos scanners intraorais foi decisiva para essa mudança. Mangano et al. (2017) descrevem os scanners intraorais como dispositivos capazes de capturar diretamente as estruturas bucais e gerar modelos digitais tridimensionais. Essa tecnologia permite substituir ou complementar moldagens convencionais, reduzindo desconforto do paciente, distorções de materiais, necessidade de armazenamento físico e etapas laboratoriais intermediárias. Entretanto, sua precisão depende de fatores como extensão do arco,

presença de saliva, reflexo de tecidos, acesso visual, experiência do operador e estratégia de escaneamento.

Na reabilitação oral contemporânea, a previsibilidade tornou-se valor central. O paciente deseja compreender previamente o resultado, participar das decisões e receber tratamentos com menor tempo clínico e maior conforto. O Digital Smile Design, o planejamento virtual e os mock-ups digitais ampliam a comunicação entre profissional e paciente, permitindo simular proporções dentárias, linha do sorriso, relação entre dentes, gengiva e face, além de orientar o desenho restaurador. Alharkan et al. (2023) destacam que o planejamento digital do sorriso pode melhorar a visualização dos resultados propostos e favorecer comunicação clínica.

Apesar dos benefícios, a adoção do fluxo digital não deve ser tratada como substituição automática da odontologia convencional. A tecnologia não elimina a necessidade de diagnóstico criterioso, conhecimento biológico, domínio de materiais, compreensão oclusal, planejamento periodontal e habilidade clínica. O fluxo digital amplia possibilidades, mas não corrige falhas conceituais. Um planejamento digital mal indicado pode apenas produzir, com maior velocidade, um tratamento biologicamente inadequado. Assim, a inovação tecnológica precisa estar subordinada à odontologia baseada em evidências e à responsabilidade clínica.

Diante disso, este artigo parte do seguinte problema de pesquisa: **quais são as principais aplicações do fluxo digital na reabilitação oral contemporânea e quais benefícios e desafios estão associados à sua incorporação na prática odontológica?**

O objetivo geral é analisar as aplicações das tecnologias digitais na reabilitação oral, com ênfase no escaneamento intraoral, planejamento virtual, CAD/CAM, manufatura aditiva, implantodontia guiada, prótese digital, comunicação clínica e personalização terapêutica. Como objetivos específicos, busca-se: discutir a evolução da odontologia digital; compreender os componentes do fluxo digital; analisar benefícios clínicos e laboratoriais; identificar limitações técnicas e econômicas; e refletir sobre as perspectivas futuras da reabilitação oral digital.

Defende-se como tese central que o fluxo digital representa uma mudança paradigmática na reabilitação oral contemporânea, pois reorganiza o diagnóstico, o planejamento, a execução e a comunicação clínica, mas sua efetividade depende da integração entre tecnologia, evidência científica, capacitação profissional e cuidado centrado no paciente.

2. METODOLOGIA

Este estudo adota abordagem qualitativa, de natureza exploratória e bibliográfica. A escolha por esse delineamento justifica-se pela necessidade de analisar criticamente o desenvolvimento das tecnologias digitais aplicadas à odontologia, com atenção especial às repercussões clínicas, laboratoriais, educacionais e organizacionais do fluxo digital na reabilitação oral contemporânea.

A pesquisa foi estruturada como revisão narrativa integrativa da literatura. Foram considerados artigos científicos, revisões sistemáticas, revisões narrativas, estudos clínicos, consensos técnicos e publicações acadêmicas relacionadas à odontologia digital, reabilitação oral, prótese dentária, implantodontia, sistemas

CAD/CAM, escaneamento intraoral, manufatura aditiva, desenho digital do sorriso e inteligência artificial aplicada à odontologia.

A pergunta norteadora foi: **como o fluxo digital tem sido aplicado na reabilitação oral contemporânea e quais são seus impactos sobre precisão, previsibilidade, comunicação, eficiência clínica e qualidade assistencial?**

Foram considerados como eixos de análise: evolução da odontologia digital; escaneamento intraoral; planejamento virtual; sistemas CAD/CAM; impressão 3D; reabilitação protética fixa; próteses removíveis digitais; implantodontia guiada; desenho digital do sorriso; comunicação interdisciplinar; limitações técnicas; custos; capacitação profissional; e perspectivas futuras.

Entre os autores e estudos utilizados, destacam-se Beuer, Schweiger e Edelhoff (2008), Miyazaki et al. (2009), Ender e Mehl (2013), Joda et al. (2017), Mangano et al. (2017), Revilla-León e Özcan (2019), Alharkan et al. (2023), Rexhepi et al. (2023), Eggmann et al. (2024), Dhar et al. (2024), Alyami et al. (2024), Abdulkarim et al. (2024), Jain et al. (2024), Ille et al. (2025), além de literatura relacionada à manufatura aditiva, materiais CAD/CAM, próteses sobre implantes e inteligência artificial em odontologia.

Foram incluídas publicações que abordassem diretamente tecnologias digitais em odontologia restauradora, prótese, implantodontia ou reabilitação oral, com ênfase em aplicações clínicas e laboratoriais. Foram excluídos textos sem autoria identificável, materiais estritamente comerciais, estudos sem relação com reabilitação oral e publicações que tratassem tecnologia digital

apenas de forma genérica, sem conexão com procedimentos odontológicos.

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, organizando os achados em categorias temáticas. Por se tratar de estudo bibliográfico, não houve coleta direta de dados com pacientes. Ainda assim, a discussão considera princípios éticos relativos à segurança do paciente, proteção de dados digitais, responsabilidade profissional, indicação clínica adequada e equidade no acesso às tecnologias.

3. EVOLUÇÃO DA ODONTOLOGIA DIGITAL E DO FLUXO DIGITAL

A odontologia digital resulta da convergência entre informática, engenharia, ciência dos materiais, imagem, manufatura e clínica odontológica. Seu desenvolvimento não ocorreu de forma abrupta, mas por meio de avanços sucessivos em digitalização de modelos, desenho assistido por computador, fresagem de blocos cerâmicos, escaneamento intraoral, softwares de planejamento e impressão 3D.

Inicialmente, os sistemas CAD/CAM eram restritos, caros e limitados em termos de materiais e precisão. Com o tempo, a evolução dos softwares, sensores ópticos, unidades de fresagem e materiais restauradores permitiu ampliação de suas indicações clínicas. Atualmente, CAD/CAM pode ser empregado na confecção de coroas, facetas, inlays, onlays, próteses parciais fixas, pilares personalizados, barras, estruturas implantossuportadas, próteses provisórias e dispositivos auxiliares.

Beuer, Schweiger e Edelhoff (2008) descrevem a odontologia digital como campo capaz de modificar substancialmente a produção de restaurações indiretas. Miyazaki et al. (2009), ao revisarem duas

décadas de experiência em CAD/CAM, destacaram a importância da evolução dos materiais e da precisão de processamento. Esses estudos ajudam a compreender que o fluxo digital se consolidou a partir da união entre captura de dados, desenho virtual e fabricação controlada.

O fluxo convencional envolve etapas como moldagem, vazamento de gesso, montagem em articulador, enceramento manual, fundição ou prensagem, ajustes e acabamento. Cada etapa pode introduzir distorções. Materiais de moldagem podem deformar, modelos de gesso podem sofrer alterações, transporte entre clínica e laboratório pode gerar perdas, e comunicação baseada em prescrições escritas pode ser insuficiente. O fluxo digital busca reduzir algumas dessas fontes de erro por meio de arquivos digitais, padronização e integração de dados.

Contudo, o digital não elimina totalmente erros. Ele desloca as fontes de imprecisão. Em vez de distorção de material de moldagem, podem ocorrer erros de escaneamento, sobreposição inadequada de imagens, falhas de desenho, incompatibilidade de arquivos, limitações de fresagem, contração de resinas impressas ou erros de calibração. Assim, a tecnologia exige controle de qualidade em todas as etapas.

O conceito contemporâneo de fluxo digital vai além da produção de restaurações. Ele envolve diagnóstico, planejamento, comunicação, execução, acompanhamento e armazenamento de dados. Fotografias digitais, vídeos, escaneamentos, tomografias, registros faciais e modelos virtuais compõem um prontuário digital que pode orientar decisões clínicas ao longo do tempo. Essa documentação

também melhora comunicação com o paciente e com a equipe interdisciplinar.

4. ESCANEAMENTO INTRAORAL E AQUISIÇÃO DE DADOS DIGITAIS

O escaneamento intraoral é uma das etapas centrais do fluxo digital. Por meio de tecnologias ópticas, o scanner captura imagens das estruturas dentárias e tecidos adjacentes, formando modelo tridimensional digital. Esse modelo pode ser utilizado para planejamento, confecção de restaurações, alinhadores ortodônticos, guias cirúrgicos, placas oclusais, próteses provisórias e documentação clínica.

Mangano et al. (2017) destacam que os scanners intraorais oferecem vantagens como conforto ao paciente, redução de náusea associada à moldagem, eliminação de vazamento de gesso, comunicação digital imediata com laboratório e possibilidade de armazenamento eletrônico. Eggmann et al. (2024) reforçam que os scanners modernos evoluíram em velocidade de captura, precisão, facilidade de uso e integração com softwares.

Uma vantagem clínica importante é a possibilidade de avaliar a qualidade do preparo imediatamente. No fluxo convencional, falhas de moldagem ou ausência de nitidez marginal podem ser identificadas apenas depois, no modelo. No fluxo digital, o profissional pode inspecionar a imagem em tempo real e corrigir áreas mal capturadas. Isso contribui para eficiência e redução de repetições.

Entretanto, a precisão do escaneamento depende do caso clínico. Escaneamentos unitários ou de pequenos segmentos tendem a

apresentar maior previsibilidade. Casos extensos, arcos totais, áreas edêntulas, múltiplos implantes e tecidos móveis podem representar maior desafio. Ender e Mehl (2013) já demonstravam que a precisão de impressões digitais varia conforme sistema e extensão do escaneamento. Estudos recentes continuam apontando que arcos totalmente edêntulos e reabilitações extensas exigem cautela, estratégia adequada e validação clínica.

A curva de aprendizagem também é relevante. O operador precisa dominar trajetória de escaneamento, controle de umidade, afastamento de tecidos, captura de margens subgengivais e controle de reflexos. A tecnologia não substitui a técnica clínica. Preparo inadequado, margem mal definida, sangramento ou campo contaminado comprometem a qualidade do arquivo digital.

Além do escaneamento intraoral, o fluxo digital pode incorporar tomografia computadorizada de feixe cônico, fotografias digitais, escaneamento facial e registros mandibulares digitais. Na implantodontia, a sobreposição entre escaneamento intraoral e tomografia permite planejamento proteticamente guiado do implante. Na reabilitação estética, fotografias e vídeos ajudam a analisar sorriso, linha média, plano oclusal, exposição gengival, dinâmica labial e proporções faciais.

A aquisição de dados digitais amplia a capacidade diagnóstica, mas também exige organização. Arquivos devem ser armazenados com segurança, identificados adequadamente e protegidos conforme princípios de confidencialidade. A digitalização aumenta a responsabilidade sobre dados do paciente.

5. PLANEJAMENTO VIRTUAL, DIGITAL SMILE DESIGN E COMUNICAÇÃO COM O PACIENTE

O planejamento virtual permite simular e organizar o tratamento antes da execução clínica. Na reabilitação oral, essa etapa é decisiva porque envolve decisões estéticas, funcionais, oclusais e biológicas. Softwares de planejamento possibilitam desenhar restaurações, avaliar proporções dentárias, simular enceramentos digitais, planejar cirurgia guiada, criar mock-ups e prever limitações anatômicas.

O Digital Smile Design representa uma das aplicações mais conhecidas do planejamento digital. Thomas et al. (2022) descrevem o DSD como conceito baseado na análise digital do sorriso por fotografias, vídeos, escaneamentos e parâmetros faciais. Alharkan et al. (2023) destacam que a ferramenta permite ao paciente visualizar resultados propostos, favorecendo comunicação e tomada de decisão.

Na reabilitação estética, o planejamento digital auxilia na definição de forma, tamanho, proporção, cor, posição e inclinação dos dentes. Também permite avaliar relação com lábios, gengiva, face e fonética. Essa abordagem evita que a restauração seja planejada apenas no dente isolado, sem considerar harmonia facial e expectativas do paciente.

A comunicação é um dos maiores benefícios do fluxo digital. Pacientes muitas vezes têm dificuldade de compreender descrições técnicas. Imagens, simulações e mock-ups facilitam o entendimento. Isso favorece consentimento informado, alinhamento de expectativas e participação do paciente. Contudo, é necessário cuidado ético: simulações não devem ser apresentadas

como garantia absoluta de resultado. Elas são ferramentas de planejamento, não promessas infalíveis.

O planejamento virtual também melhora a comunicação entre profissionais. Periodontistas, implantodontistas, protesistas, ortodontistas, técnicos em prótese dentária e cirurgiões podem compartilhar arquivos e discutir o caso com base em modelos digitais. Essa integração é particularmente relevante em reabilitações complexas, nas quais decisões sobre posição dentária, implantes, gengiva, oclusão e estética são interdependentes.

O mock-up digital e impresso permite transferir o planejamento para a boca do paciente. Essa etapa ajuda a avaliar estética, fonética, suporte labial, dimensão vertical e aceitação do paciente antes de desgastes definitivos. Na odontologia minimamente invasiva, essa previsibilidade é fundamental para preservar estrutura dentária.

Apesar das vantagens, o planejamento virtual exige senso crítico. Parâmetros estéticos não devem ser aplicados de forma padronizada e artificial. O sorriso precisa respeitar individualidade, idade, contexto facial, biotipo periodontal, saúde bucal e desejo do paciente. A tecnologia deve humanizar a comunicação, não padronizar rostos.

6. SISTEMAS CAD/CAM NA REABILITAÇÃO ORAL

CAD/CAM significa desenho assistido por computador e manufatura assistida por computador. Na odontologia, esses sistemas permitem projetar e fabricar restaurações a partir de dados digitais. O processo geralmente envolve aquisição de imagem, desenho virtual, escolha do material e fabricação por fresagem ou impressão.

Na reabilitação oral, CAD/CAM é amplamente utilizado em restaurações indiretas, coroas unitárias, facetas, inlays, onlays, próteses fixas, pilares personalizados, estruturas sobre implantes, próteses provisórias e próteses removíveis digitais. A possibilidade de padronizar espessura, contato proximal, anatomia oclusal e adaptação marginal contribui para previsibilidade.

Rexhepi et al. (2023), em revisão sistemática sobre materiais CAD/CAM, analisaram propriedades mecânicas e aplicações clínicas, destacando a variedade crescente de cerâmicas, resinas compostas, materiais híbridos e polímeros. Essa diversidade amplia opções terapêuticas, mas também exige conhecimento técnico. Cada material possui indicações, limitações, resistência, translucidez, protocolo de cimentação e comportamento clínico específicos.

Entre os materiais utilizados em CAD/CAM estão cerâmicas vítreas, dissilicato de lítio, zircônia, cerâmicas híbridas, resinas compostas, PMMA e materiais provisórios. A escolha depende da região, carga mastigatória, estética, espaço protético, necessidade de resistência, tipo de preparo, forma de retenção e estratégia de cimentação. A zircônia, por exemplo, apresenta alta resistência, mas exige cuidados quanto a adesão, acabamento e desgaste do antagonista. O dissilicato de lítio oferece excelente estética em várias indicações, mas precisa de espessura e cimentação adequadas.

O fluxo CAD/CAM pode ser realizado em consultório, no modelo chairside, ou em laboratório. O modelo chairside possibilita restaurações em sessão única em casos selecionados, reduzindo provisórios e tempo de tratamento. O modelo laboratorial permite maior complexidade, acabamento especializado e integração com

ceramistas. A escolha depende do caso, da estrutura disponível e da experiência da equipe.

A precisão CAD/CAM depende de todas as etapas. Um escaneamento impreciso compromete o desenho; um desenho inadequado compromete a restauração; uma fresagem mal calibrada compromete adaptação; uma cimentação inadequada compromete longevidade. Portanto, o fluxo digital deve ser entendido como cadeia de qualidade.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de repetição. Arquivos digitais permitem refazer restaurações com maior facilidade quando os dados estão armazenados. Isso pode ser útil em fraturas, perdas ou necessidade de manutenção. O prontuário digital também facilita acompanhamento longitudinal.

7. MANUFATURA ADITIVA E IMPRESSÃO 3D

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, tem ampliado suas aplicações na odontologia. Diferentemente da manufatura subtrativa, que remove material de um bloco, a manufatura aditiva constrói o objeto por camadas. Essa característica permite produzir geometrias complexas com potencial economia de material.

Na reabilitação oral, a impressão 3D é utilizada para modelos de estudo, modelos de trabalho, guias cirúrgicos, provisórios, placas oclusais, moldeiras individuais, padrões calcináveis, bases de próteses totais, dentes artificiais, restaurações provisórias e, em alguns contextos, estruturas definitivas conforme material e indicação. Alyami et al. (2024) destacam que a impressão 3D tem

transformado a prótese dentária, embora ainda enfrente desafios de custo, materiais e validação clínica.

A impressão 3D é particularmente relevante na implantodontia guiada. Guias cirúrgicos impressos permitem transferir o planejamento virtual para o ato cirúrgico, orientando posição, angulação e profundidade dos implantes. Isso favorece abordagem proteticamente guiada, reduz imprevisto e pode aumentar previsibilidade em casos selecionados. Entretanto, a precisão depende da tomografia, do escaneamento, do planejamento, do desenho do guia, da impressão, do encaixe intraoral e da execução cirúrgica.

Na prótese total digital, a impressão 3D e a fresagem permitem reduzir etapas clínicas e laboratoriais. Próteses totais digitais podem ser planejadas, armazenadas e reproduzidas com maior facilidade. Contudo, a obtenção de registros funcionais, extensão de bordas, relação maxilomandibular e estética ainda exige julgamento clínico apurado. O fluxo digital em prótese total pode ser total ou híbrido.

A impressão 3D também tem importância educacional e laboratorial. Modelos impressos podem substituir modelos de gesso em determinadas etapas, facilitar comunicação e treinamento. Fayyaz et al. (2024) destacam o valor de dentes impressos em 3D na educação odontológica, especialmente por sua disponibilidade e padronização.

Entretanto, a manufatura aditiva apresenta limitações. Contração de polimerização, orientação de impressão, espessura de camada, pós-cura, propriedades mecânicas, biocompatibilidade, estabilidade de cor, rugosidade superficial e envelhecimento do material são fatores

críticos. A impressão 3D não deve ser utilizada indiscriminadamente para todos os fins. Materiais definitivos exigem evidência clínica e protocolos rigorosos.

8. FLUXO DIGITAL EM IMPLANTODONTIA E PRÓTESE SOBRE IMPLANTES

A implantodontia é um dos campos mais beneficiados pelo fluxo digital. A integração entre tomografia computadorizada de feixe cônico, escaneamento intraoral e planejamento protético virtual permite posicionar implantes a partir da futura restauração, e não apenas da disponibilidade óssea. Esse conceito de implantodontia proteticamente guiada melhora a relação entre implante, prótese, tecidos peri-implantares e estética.

Joda et al. (2017) discutem o impacto das tecnologias digitais na prótese fixa sobre implantes, destacando que o fluxo digital pode otimizar planejamento, comunicação e execução. A possibilidade de criar guias cirúrgicos, pilares personalizados, coroas sobre implantes e restaurações provisórias planejadas virtualmente amplia a previsibilidade.

O escaneamento intraoral com scan bodies permite registrar a posição dos implantes digitalmente. Esses dispositivos transferem ao software a localização tridimensional do implante. A precisão depende da geometria do scan body, do encaixe correto, da estratégia de escaneamento e da extensão do arco. Em casos unitários ou pequenos segmentos, a previsibilidade tende a ser maior. Em arcos totais implantossuportados, ainda há desafios relacionados à precisão acumulada.

O fluxo digital também facilita carga imediata planejada. Em casos selecionados, é possível planejar provisórios antes da cirurgia e instalá-los após a colocação dos implantes, desde que estabilidade primária, planejamento reverso e critérios biomecânicos sejam respeitados. Isso exige integração precisa entre cirurgia, prótese e laboratório.

Na zona estética, o fluxo digital auxilia na preservação de tecidos peri-implantares, no planejamento de perfil de emergência e na confecção de provisórios personalizados. A arquitetura gengival é determinante para o resultado final, e o desenho protético deve respeitar biologia tecidual. A tecnologia ajuda, mas não substitui princípios periodontais e cirúrgicos.

Os guias cirúrgicos impressos aumentam previsibilidade, mas não eliminam riscos. Desvios podem ocorrer por adaptação inadequada do guia, abertura bucal limitada, qualidade da impressão, suporte dental ou mucoso, tolerância das anilhas, movimento durante fresagem e experiência do operador. Portanto, a cirurgia guiada deve ser executada com conhecimento anatômico e capacidade de adaptação.

9. PRÓTESE REMOVÍVEL DIGITAL E REABILITAÇÃO DE PACIENTES EDÊNTULOS

A digitalização da prótese removível representa avanço importante, mas também um dos campos mais desafiadores da odontologia digital. Pacientes totalmente edêntulos apresentam tecidos móveis, ausência de referências dentárias, necessidade de registros funcionais e grande dependência da extensão de bordas, suporte, retenção e estabilidade.

Srivastava et al. (2023) revisaram a acurácia dos scanners intraorais em arcos completamente edêntulos e apontaram que a qualidade do escaneamento ainda é questionável em determinadas situações. Isso não impede o uso do fluxo digital, mas exige cautela e, muitas vezes, combinação com etapas convencionais. A moldagem funcional ainda pode ser necessária para captar adequadamente áreas de suporte e selamento periférico.

As próteses totais digitais podem ser fresadas ou impressas. Entre as vantagens estão redução de consultas, armazenamento do desenho, possibilidade de reprodução, padronização de bases e maior eficiência laboratorial. Contudo, estética, fonética, dimensão vertical, relação cêntrica e adaptação de tecidos continuam exigindo avaliação clínica refinada.

Na prótese parcial removível, o fluxo digital pode auxiliar no desenho da armação, análise de eixo de inserção, planejamento de apoios, grampos, conectores e confecção por fresagem, sinterização ou impressão. Isso melhora comunicação com laboratório e padronização do desenho. Ainda assim, biomecânica protética, preparo de boca e saúde periodontal seguem fundamentais.

A reabilitação de pacientes edêntulos demonstra que o digital não elimina completamente o convencional. Em muitos casos, o fluxo híbrido é mais prudente. Combinar moldagem funcional convencional com desenho digital pode oferecer equilíbrio entre registro biológico e eficiência tecnológica.

10. IMPACTOS SOBRE TEMPO CLÍNICO, QUALIDADE E COMUNICAÇÃO LABORATORIAL

Um dos argumentos favoráveis ao fluxo digital é a otimização do tempo clínico e laboratorial. A eliminação de etapas como vazamento de gesso, envio físico de modelos, enceramento manual em determinadas situações e repetição de moldagens pode reduzir tempo total de tratamento. Abdulkarim et al. (2024) destacam que fluxos digitais em prótese fixa podem impactar precisão, eficiência temporal e satisfação do paciente.

A comunicação entre clínica e laboratório torna-se mais objetiva. Arquivos digitais podem ser enviados instantaneamente, acompanhados de fotografias, vídeos, tomografias, registros de cor e instruções detalhadas. O técnico em prótese dentária pode avaliar margens, espaço protético e desenho em ambiente virtual, dialogando com o dentista antes da fabricação. Essa troca reduz ambiguidades.

A qualidade do tratamento pode ser favorecida pela padronização. Softwares permitem controlar espessuras mínimas, espaço de cimento, contatos proximais, anatomia, oclusão e parâmetros de material. Entretanto, padronização não significa automatismo. A restauração deve ser individualizada. O olhar clínico e artístico permanece relevante, especialmente em reabilitações estéticas anteriores.

Outro impacto é o envolvimento do paciente. Ao visualizar escaneamentos, simulações e mock-ups, o paciente participa mais do processo decisório. Isso pode aumentar confiança, compreensão do tratamento e aceitação. Entretanto, a comunicação deve ser ética e realista. O profissional deve explicar limitações, riscos, necessidade de manutenção e possibilidade de ajustes.

O fluxo digital também favorece documentação legal e acompanhamento. Modelos digitais podem ser armazenados e comparados ao longo do tempo, permitindo monitorar desgaste dentário, recessões, movimentações, alterações oclusais e evolução do caso. Essa capacidade de comparação longitudinal pode auxiliar diagnóstico precoce e planejamento de manutenção.

11. DESAFIOS, LIMITAÇÕES E CUIDADOS ÉTICOS

Apesar das vantagens, a adoção do fluxo digital enfrenta desafios relevantes. O primeiro é o custo de implementação. Scanners intraorais, softwares, fresadoras, impressoras 3D, licenças, materiais e manutenção demandam investimento significativo. Para muitos profissionais e laboratórios, o custo pode ser barreira. Além disso, tecnologias tornam-se obsoletas rapidamente, exigindo atualização contínua.

O segundo desafio é a curva de aprendizagem. A digitalização exige treinamento técnico, domínio de softwares, compreensão de arquivos, estratégias de escaneamento, protocolos de manufatura e conhecimento de materiais. Profissionais sem capacitação podem obter resultados inferiores aos do fluxo convencional. A tecnologia precisa ser acompanhada de formação.

O terceiro desafio é a interoperabilidade. Nem todos os sistemas conversam plenamente entre si. Arquivos fechados, incompatibilidades de software, limitações de exportação e dependência de plataformas proprietárias podem restringir o fluxo. A padronização de formatos, como STL, PLY e OBJ, favorece comunicação, mas nem sempre preserva todas as informações clínicas, como cor e textura.

O quarto desafio é a validação clínica de materiais e processos. Novos materiais digitais surgem rapidamente, mas nem todos possuem acompanhamento longitudinal suficiente. Resistência mecânica, desgaste, estabilidade de cor, adesão, biocompatibilidade e envelhecimento devem ser avaliados antes de ampla indicação clínica.

O quinto desafio é a proteção de dados. Escaneamentos, fotografias, tomografias e arquivos faciais são dados sensíveis do paciente. O armazenamento em nuvem, compartilhamento com laboratórios e uso em softwares exigem consentimento, segurança, confidencialidade e responsabilidade ética. A odontologia digital amplia a importância da governança de dados.

O sexto desafio é evitar o tecnocentrismo. Nem todo caso exige fluxo totalmente digital. Em algumas situações, a técnica convencional pode ser mais indicada, mais acessível ou mais previsível. A boa prática clínica exige escolher o método adequado ao paciente, e não submeter o paciente à tecnologia disponível.

12. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

A inteligência artificial tem potencial para ampliar ainda mais o fluxo digital odontológico. Suas aplicações incluem segmentação automática de dentes, detecção de lesões, análise radiográfica, planejamento de implantes, desenho protético, previsão estética, análise oclusal e apoio à decisão clínica. Mallineni et al. (2024) e Aljulayfi et al. (2024) destacam o crescimento da IA em diagnóstico, planejamento e prótese.

Na reabilitação oral, a IA pode auxiliar na identificação de margens, sugestão de anatomia dentária, desenho de restaurações, análise de

sorriso, planejamento implantodôntico e comparação de registros ao longo do tempo. Sistemas integrados podem reduzir tarefas repetitivas e aumentar eficiência.

Entretanto, a IA exige validação rigorosa. Algoritmos podem reproduzir vieses, errar em populações não representadas nos bancos de dados e gerar sugestões inadequadas. A responsabilidade clínica permanece com o profissional. A IA deve apoiar, e não substituir, o julgamento odontológico.

Outra tendência é a integração de escaneamento intraoral, escaneamento facial, tomografia e movimentos mandibulares digitais em ambiente virtual. Isso pode permitir planejamento funcional mais refinado, especialmente em reabilitações extensas. Articuladores virtuais, registros dinâmicos e análise digital de oclusão tendem a evoluir.

A odontologia digital também pode favorecer teleodontologia e segunda opinião. Arquivos digitais podem ser compartilhados com especialistas, permitindo discussão de casos à distância. Isso pode beneficiar regiões com menor acesso a especialistas, desde que respeitados limites éticos e legais.

O futuro da reabilitação oral tende a ser híbrido, personalizado e integrado. O desafio não será apenas possuir tecnologia, mas saber combiná-la com princípios biológicos, evidência científica, sensibilidade estética e humanização.

13. RESULTADOS DA ANÁLISE

A análise da literatura permite identificar sete resultados principais.

O primeiro resultado é que o fluxo digital reorganiza a reabilitação oral ao integrar diagnóstico, planejamento, execução e comunicação em ambiente virtual.

O segundo resultado é que o escaneamento intraoral melhora conforto, documentação e comunicação, mas sua precisão varia conforme extensão do caso, área escaneada, técnica e experiência do operador.

O terceiro resultado é que sistemas CAD/CAM ampliam previsibilidade e eficiência na produção de restaurações e próteses, desde que associados à escolha adequada de materiais e protocolos clínicos.

O quarto resultado é que a manufatura aditiva expande possibilidades de produção de modelos, guias, provisórios e próteses, mas ainda exige validação criteriosa para determinadas indicações definitivas.

O quinto resultado é que o planejamento virtual e o Digital Smile Design fortalecem comunicação com o paciente e planejamento estético, mas não devem gerar promessas irreais.

O sexto resultado é que a implantodontia guiada e a prótese sobre implantes se beneficiam da integração entre escaneamento, tomografia e planejamento protético reverso.

O sétimo resultado é que os principais desafios são custo, capacitação, interoperabilidade, proteção de dados, validação de materiais e risco de uso acrítico da tecnologia.

14. DISCUSSÃO

A discussão central deste artigo é que o fluxo digital representa uma mudança paradigmática na reabilitação oral contemporânea. Essa mudança não se limita à substituição de moldagens convencionais por escaneamentos ou de enceramentos manuais por desenhos virtuais. Trata-se de uma reorganização do pensamento clínico, na qual diagnóstico, planejamento, execução e comunicação passam a ser integrados em uma cadeia digital.

O principal ganho dessa transformação é a previsibilidade. Ao visualizar o caso em ambiente virtual, o profissional consegue antecipar dificuldades, simular resultados, avaliar espaços, discutir alternativas e transferir o planejamento para a execução com maior controle. Na reabilitação oral, em que pequenas imprecisões podem comprometer estética, função e longevidade, essa previsibilidade é relevante.

No entanto, a previsibilidade digital não deve ser confundida com infalibilidade. Todo fluxo digital depende da qualidade dos dados de entrada. Um escaneamento incompleto, uma margem mal capturada, uma tomografia com artefatos ou uma fotografia inadequada comprometem o planejamento. Assim, a máxima “lixo entra, lixo sai” aplica-se também à odontologia digital. A tecnologia processa dados, mas não corrige automaticamente falhas clínicas.

Outro ponto importante é a relação entre tecnologia e biologia. A reabilitação oral continua dependendo de saúde periodontal, controle de cárie, estabilidade oclusal, espaço protético, adesão, preparo adequado, respeito às distâncias biológicas e manutenção. O fluxo digital pode melhorar a execução, mas não substitui princípios biológicos. Uma coroa digitalmente perfeita sobre dente

mal preparado ou periodonto inflamado continuará sendo clinicamente inadequada.

A comunicação é outro avanço expressivo. O fluxo digital aproxima dentista, técnico, especialistas e paciente. O técnico recebe informações mais completas; o paciente visualiza possibilidades; os especialistas discutem o caso com base em arquivos compartilháveis. Essa comunicação reduz incertezas e melhora adesão ao plano de tratamento. Contudo, também aumenta responsabilidade ética, pois simulações podem criar expectativas irreais. O paciente deve compreender que o resultado final depende de tecidos, materiais, resposta biológica, habilidade clínica e manutenção.

A eficiência também é relevante. Em muitos casos, o fluxo digital reduz tempo clínico e laboratorial, melhora armazenamento e facilita repetição de peças. Entretanto, a eficiência depende de domínio técnico. Profissionais em fase inicial de aprendizagem podem gastar mais tempo do que no fluxo convencional. A vantagem surge quando a equipe domina protocolos.

Do ponto de vista educacional, a odontologia digital exige reformulação da formação profissional. Faculdades e cursos de especialização precisam ensinar não apenas o uso de equipamentos, mas raciocínio digital crítico. O estudante deve compreender quando usar, como usar, quando não usar e quais limitações cada tecnologia apresenta. A formação não deve produzir operadores de software, mas clínicos capazes de integrar tecnologia e biologia.

A questão do acesso também merece destaque. A transformação digital pode ampliar desigualdades entre clínicas, laboratórios e pacientes. Serviços com maior capacidade de investimento incorporam tecnologias mais rapidamente, enquanto outros permanecem em fluxo convencional por razões econômicas. Isso não significa que o tratamento convencional seja inferior em todos os casos, mas indica que a inovação pode se tornar marcador de desigualdade. A democratização do acesso exige redução de custos, formação ampla e modelos de compartilhamento tecnológico.

A interoperabilidade é outro ponto crítico. Fluxos digitais dependem da circulação de arquivos entre diferentes sistemas. Quando plataformas são fechadas, o profissional fica preso a determinado ecossistema tecnológico. Isso pode aumentar custos e limitar autonomia. Sistemas abertos favorecem colaboração e flexibilidade, mas também exigem gestão adequada de arquivos.

A inteligência artificial tende a ampliar esse cenário. Softwares capazes de sugerir desenhos, identificar estruturas, planejar implantes e automatizar etapas podem aumentar eficiência. Contudo, a IA deve ser validada clinicamente e supervisionada por profissionais. A decisão odontológica envolve biologia, ética, estética, função e subjetividade do paciente, dimensões que não podem ser reduzidas integralmente a algoritmos.

Assim, o fluxo digital deve ser compreendido como ferramenta poderosa, mas não como fim em si mesmo. A melhor odontologia digital será aquela capaz de integrar precisão tecnológica, evidência científica, sensibilidade clínica e cuidado humano.

15. DIRETRIZES PARA A APLICAÇÃO CLÍNICA DO FLUXO DIGITAL

A partir da análise realizada, propõem-se diretrizes para aplicação clínica responsável do fluxo digital na reabilitação oral.

Primeiro, realizar diagnóstico integral antes de qualquer planejamento digital. A tecnologia deve ser precedida por avaliação clínica, periodontal, endodôntica, oclusal, estética e radiográfica.

Segundo, selecionar o fluxo de acordo com o caso. Nem todo tratamento exige fluxo totalmente digital. Fluxos híbridos podem ser mais adequados em situações específicas.

Terceiro, garantir qualidade da aquisição de dados. Escaneamentos, fotografias e tomografias devem seguir protocolos rigorosos.

Quarto, escolher materiais com base em evidência, indicação clínica, propriedades mecânicas, estética e longevidade.

Quinto, investir em capacitação profissional contínua. O domínio do fluxo digital exige atualização permanente.

Sexto, manter comunicação clara com o paciente, evitando promessas irreais baseadas em simulações.

Sétimo, proteger dados digitais por meio de armazenamento seguro, consentimento e confidencialidade.

Oitavo, integrar clínica e laboratório desde o planejamento inicial.

Nono, validar clinicamente a adaptação, função e estética das peças, mesmo quando produzidas digitalmente.

Décimo, utilizar tecnologia como instrumento de cuidado, e não como substituto do julgamento clínico.

16. CONCLUSÃO

As tecnologias digitais transformaram profundamente a odontologia contemporânea, especialmente no campo da reabilitação oral. O fluxo digital, ao integrar escaneamento intraoral, planejamento virtual, CAD/CAM, manufatura aditiva, desenho digital do sorriso, implantodontia guiada e comunicação digital, ampliou a previsibilidade, a eficiência e a personalização dos tratamentos reabilitadores.

O estudo demonstrou que o escaneamento intraoral melhora conforto, documentação e comunicação clínica, embora ainda apresente limitações em casos extensos e edêntulos. Os sistemas CAD/CAM possibilitam restaurações e próteses com alto grau de padronização, desde que associados a materiais adequados e protocolos bem executados. A impressão 3D amplia possibilidades laboratoriais e cirúrgicas, mas exige validação de materiais e controle técnico. O planejamento virtual e o Digital Smile Design fortalecem a comunicação com o paciente e a integração interdisciplinar.

Entretanto, a transformação digital não elimina os fundamentos da odontologia. Saúde periodontal, controle de cárie, preparo adequado, princípios oclusais, seleção de materiais, adaptação marginal, cimentação e manutenção continuam determinando o sucesso clínico. A tecnologia amplia a capacidade do profissional, mas não substitui conhecimento biológico, habilidade técnica e responsabilidade ética.

Conclui-se que o fluxo digital representa uma mudança paradigmática na reabilitação oral contemporânea, contribuindo para abordagens mais previsíveis, personalizadas e eficientes. Contudo, sua implementação exige capacitação, investimento, senso crítico, proteção de dados, escolha adequada de materiais e compromisso com a odontologia baseada em evidências. A excelência assistencial dependerá da capacidade de integrar inovação tecnológica e humanização do cuidado, mantendo o paciente no centro do processo terapêutico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULKARIM, Lina I. et al. Impact of digital workflow integration on fixed prosthodontics: a review. **Journal of Clinical Medicine**, 2024.

ALHARKAN, Hanan M. et al. Integrating digital smile design into restorative dentistry. **Cureus**, v. 15, n. 11, 2023.

ALJULAYFI, Ibrahim S. et al. The potential of artificial intelligence in prosthodontics: a systematic review. **Cureus**, 2024.

ALYAMI, Mohammed H. et al. The applications of 3D-printing technology in prosthodontics. **Cureus**, v. 16, n. 9, 2024.

BEUER, Florian; SCHWEIGER, Josef; EDELHOFF, Daniel. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. **British Dental Journal**, v. 204, n. 9, p. 505-511, 2008.

DHAR, Ankit et al. Scanning in dentistry: a systematic review. **Journal of Clinical Medicine**, 2024.

EGGMANN, Florin et al. Recent advances in intraoral scanners. **Journal of Clinical Medicine**, 2024.

ENDER, Andreas; MEHL, Albert. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 109, n. 2, p. 121-128, 2013.

FAYYAZ, Y. et al. Applications of 3D-printed teeth in dental education. **Journal of Dental Education**, 2024.

ILIE, Claudia Elena et al. Exploring the properties and indications of chairside CAD/CAM materials. **Journal of Functional Biomaterials**, 2025.

JAIN, A. et al. The recent use, patient satisfaction, and advancement in digital smile design: a systematic review. **Cureus**, 2024.

JODA, Tim; FERRARI, Marco; GALLUCCI, German O.; WITTNENBEN, Julia G.; BRÄGGER, Urs. Digital technology in fixed implant prosthodontics. **Periodontology 2000**, v. 73, n. 1, p. 178-192, 2017.

MALLINENI, Sreekanth Kumar et al. Artificial intelligence in dentistry: a descriptive review. **Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry**, 2024.

MANGANO, Francesco; GANDOLFI, Andrea; LUONGO, Giuseppe; LOGOZZO, Silvia. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. **BMC Oral Health**, v. 17, n. 149, 2017.

MIYAZAKI, Tohru; HOTTA, Yuji; KUNII, Jun; KURIYAMA, Shinya; TAMAKI, Yukimichi. A review of dental CAD/CAM: current status and

future perspectives from 20 years of experience. **Dental Materials Journal**, v. 28, n. 1, p. 44-56, 2009.

REVILLA-LEÓN, Marta; ÖZCAN, Mutlu. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. **Journal of Prosthodontics**, v. 28, n. 2, p. 146-158, 2019.

REXHEPI, Ilir et al. Clinical applications and mechanical properties of CAD-CAM dental materials: a systematic review. **Journal of Functional Biomaterials**, v. 14, n. 8, 2023.

SRIVASTAVA, Garima et al. Accuracy of intraoral scanner for recording completely edentulous arches: a systematic review. **Journal of Prosthetic Dentistry**, 2023.

THOMAS, P. A. et al. Digital smile design. **Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences**, v. 14, supl. 1, p. S43-S49, 2022.

ZAKKOUR, S. D. et al. Comparative evaluation of the digital workflow and conventional workflow in prosthodontics. **Journal of Clinical Medicine**, 2023

¹ Mestre e Professor Titular pelas Faculdades Integradas de Santa Fé do Sul (UNIFUNEC). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Professora Assistente Doutora pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Faculdade de Odontologia de Araçatuba (FOA). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Doutora pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail:

[acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Doutora em Ciências Odontológicas pelo Centro Universitário

Florence. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Mestra pelo Centro Universitário Florence. E-mail: [acesse o artigo](#)

[original para visualizar o e-mail](#)

⁶ Graduada em Odontologia pela Universidade Federal do Piauí

(UFPI). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁷ Mestra em Biologia Parasitária pela Universidade Ceuma

(Uniceuma). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)