CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO JOSÉ
CURSO DE ODONTOLOGIA

DANIEL CARDOSO SANTOS SENNA LAGE
EMANUELLE TORRES CÂMARA
JULIA MOREIRA BRAGA

IMPACTOS DA ERA DIGITAL NA PRÁTICA CLÍNICA ODONTOLÓGICA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS ANALÓGICOS E DIGITAIS

Rio de Janeiro
2024.2

DANIEL CARDOSO SANTOS SENNA LAGE
EMANUELLE TORRES CÂMARA
JULIA MOREIRA BRAGA

IMPACTOS DA ERA DIGITAL NA PRÁTICA CLÍNICA ODONTOLÓGICA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS ANALÓGICOS E DIGITAIS

Projeto de pesquisa apresentado para a Disciplina de TCC I, sob a orientação do prof. Marco Antonio Saber Corpas.

Rio de Janeiro
2024.2

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CAM	Computer-Aided Manufacturing (Fabricação Assistida por Computador)
µm	Micrômetro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento da luz estruturada de um scanner intraoral 15
Figura 2 - Captura de tela de sistema CAD de design de uma restauração sob dente digitalizado. 17
Figura 3 - Fresadora cortando bloco de dissilicato e bloco de zircônia 18

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Comparação de tecnologias de Scanners Intraorais.....15
Tabela 2 - Comparativo de preços e características de sistemas CAD/CAM e scanners intraorais.....21

SUMÁRIO

RESUMO *6*
ABSTRACT *7*
1. INTRODUÇÃO *7*
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA *9*
2.1 MOLDAGEM CONVENCIONAL: PRINCÍPIOS, APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES **9**
2.2 MOLDAGEM DIGITAL: INOVAÇÕES E BENEFÍCIOS **10**
2.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS **11**
2.4 DESAFIOS DA MOLDAGEM DIGITAL: CUSTOS E CURVA DE APRENDIZADO **12**
2.5 IMPACTOS CLÍNICOS E RELEVÂNCIA SOCIAL **12**
3. MOLDAGEM CONVENCIONAL *13*
4. SURGIMENTO E EVOLUÇÃO DOS SCANNERS INTRAORAIS *13*
4.1 LUZ ESTRUTURADA **14**
4.2 LASER **14**
5. MECANISMO DE AÇÃO DO SISTEMA CAD/CAM *16*
5.1 FASE DE DESIGN (CAD) **16**
5.2 FASE DE MANUFATURA (CAM) **17**
5.3 MECANISMO DE FRESAGEM SUBTRATIVA **18**
6. INTEGRAÇÃO ENTRE CAD E CAM *19*
7. DIFERENÇAS NO GAP MARGINAL *19*
8. ARMAZENAMENTO E ARQUIVAMENTO DE MOLDES *20*
9. CUSTOS DOS SISTEMAS DIGITAIS *20*
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS *22*
11. REFERÊNCIAS *25*

IMPACTOS DA ERA DIGITAL NA PRÁTICA CLÍNICA ODONTOLÓGICA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS ANALÓGICOS E DIGITAIS

IMPACTS OF DIGITAL ERA ON CLINICAL DENTAL PRACTICE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ANALOG AND DIGITAL METHODS

Daniel Cardoso Santos Senna Lage
Graduando do Curso de Odontologia do Centro Universitário São Jose.
Emanuelle Torres Câmara
Graduanda do Curso de Odontologia do Centro Universitário São Jose.
Julia Moreira Braga
Graduanda do Curso de Odontologia do Centro Universitário São Jose.
Marco Antonio Saber Corpas
Prof. Esp. em Prótese

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, as técnicas de moldagem odontológica vêm passando por uma transformação significativa, particularmente com a introdução dos scanners intraorais e sistemas CAD/CAM. A moldagem odontológica é um processo essencial para a confecção de próteses dentárias e restaurações, sendo a precisão desse procedimento crucial para a adaptação e longevidade de destas. Tradicionalmente, a moldagem convencional, que utiliza materiais como alginato e silicones de adição, era o método mais utilizado. Contudo, com o surgimento de scanners intraorais e sistemas CAD/CAM, a moldagem digital tem ganhado popularidade por oferecer maior precisão e eficiência. Este trabalho tem como objetivo realizar uma comparação abrangente entre as técnicas de moldagem convencional e digital. Através de uma revisão de literatura, foram analisados estudos sobre a distorção, adaptação marginal, tempo clínico e o custo-benefício de ambas as técnicas. Os resultados indicam que, embora a moldagem digital apresente vantagens significativas, como maior precisão e conforto para o paciente, ainda existem desafios relacionados ao custo elevado dos equipamentos e à curva de aprendizado. Por outro lado, a moldagem convencional, apesar de apresentar maior possibilidade de distorção, continua sendo amplamente utilizada devido ao seu custo acessível e familiaridade entre os profissionais.

Palavras-chave: Sistema CAD/CAM, Odontologia Digital e Scanners Intraorais

ABSTRACT

With technological advancements, dental molding techniques are undergoing a significant transformation, particularly with the introduction of intraoral scanners and CAD/CAM systems. Dental molding is a crucial process in the fabrication of dental prosthetics and restorations, with the precision of this procedure being essential for optimal adaptation and longevity of these prosthetics. Traditionally, conventional molding—employing materials such as alginate and addition silicones—was the most commonly used method. However, with the advent of intraoral scanners and CAD/CAM systems, digital molding has been gaining prominence for offering enhanced precision and efficiency. This study aims to conduct a comprehensive comparison between conventional and digital molding techniques. Through a literature review, studies were analyzed regarding distortion, marginal adaptation, clinical time, and the cost-effectiveness of both techniques. The findings indicate that, although digital molding offers significant advantages, such as increased precision and improved patient comfort, there are still challenges related to the high costs of equipment and the learning curve required. Conversely, conventional molding, despite a greater susceptibility to distortion, remains widely utilized due to its affordability and widespread familiarity among practitioners.

Keywords: CAD/CAM System, Digital Dentistry and Intraoral Scanners.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a prática clínica odontológica tem passado por uma revolução tecnológica significativa, impulsionada pela modernização dos procedimentos, especialmente no que diz respeito às técnicas de moldagem. Tradicionalmente, a moldagem é realizada por meio de métodos analógicos, com o uso de materiais de impressão, como alginato e silicones de adição, que capturam a anatomia dentária e gengival do paciente, sendo o padrão ouro na odontologia há muitos anos (NG *et al*., 2014). Contudo, apesar da eficácia comprovada e serem amplamente aceitos, apresentam limitações significativas, como a possibilidade de distorção causadas pela manipulação do material, a necessidade de etapas adicionais, como a produção de modelos de gesso, o que pode comprometer a precisão final dos tratamentos e aumentar o desconforto para o paciente e dificuldades no armazenamento. (NG *et al*., 2014).

Com o avanço das tecnologias digitais, novos métodos de moldagem odontológica, como os os scanners intraorais e os sistemas CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) começaram a ser introduzidos na prática clínica, oferecendo soluções para superar as limitações dos métodos convencionais. Esses sistemas permitem a captura direta das estruturas dentárias em três dimensões,

oferecendo vantagens significativas em termos de precisão, eficiência e conforto para os pacientes (SAILER *et al*., 2019; NG *et al*., 2014). A utilização dos scanners intraorais elimina a necessidade de materiais físicos e modelos de gesso, otimizando o fluxo de trabalho, reduzindo o tempo clínico e proporcionando uma visualização imediata das áreas a serem restauradas, permitindo correções em tempo real (VAZ & CARRACHO, 2020).

O aprimoramento das tecnologias digitais na odontologia não só tem favorecido a precisão das próteses, mas também a adaptação marginal, um dos aspectos mais críticos para a longevidade e funcionalidade de restaurações. Diversos estudos têm demonstrado que as próteses fabricadas com moldagens digitais apresentam discrepâncias marginais muito menores quando comparadas às próteses feitas com moldagem convencional (ENDER & MEHL, 2013; MANGANO *et al*., 2017). Essa melhoria na adaptação é crucial para garantir que as próteses se ajustem perfeitamente à cavidade oral, prevenindo problemas como infiltração bacteriana e desgaste prematuro.

No entanto, apesar das inovações trazidas pela transição dos métodos digitais para os convencionais, não ocorre de forma homogênea entre os profissionais. O alto custo inicial dos equipamentos, como scanners intraorais e sistemas CAD/CAM, continua sendo uma barreira significativa para muitos profissionais da área, especialmente aqueles em consultórios de pequeno porte (MANGANO *et* al., 2017). A implementação de sistemas digitais também exige treinamento especializado, o que representa uma curva de aprendizado considerável para os profissionais, muitos dos quais já estão acostumados aos métodos tradicionais. Abduljawad e Rayyan (2022) apontam que, apesar dos benefícios das tecnologias digitais, muitos dentistas ainda enfrentam dificuldades para adotar esses sistemas devido à complexidade do treinamento necessário e ao custo dos dispositivos.

Embora os sistemas CAD/CAM e scanners intraorais ofereçam evidentes vantagens em termos de precisão, velocidade e conforto, a implementação desses métodos não é isenta de desafios. A escolha do equipamento adequado, que atenda tanto às necessidades clínicas quanto às limitações financeiras do consultório, torna-se uma decisão crucial. A precisão dos scanners pode variar dependendo da marca e do modelo, e a falta de calibração regular pode comprometer os resultados clínicos

(PAPASPYRIDAKOS *et al*., 2016). Além disso, há uma questão importante relacionada à adoção dessas tecnologias em consultórios menores, onde o custo-benefício e a viabilidade do investimento precisam ser cuidadosamente avaliados.

Portanto, a relevância deste estudo reside na necessidade de uma análise mais aprofundada sobre as diferenças entre moldagem convencional e digital, em termos de precisão, tempo de atendimento, custo e satisfação dos pacientes. Através de uma revisão sistemática da literatura, utilizando-se das bases de dados dos sites: SCIELO, PubMed e Google Scholar, com a busca de artigos publicados entre 2010 e 2023. A análise foi qualitativa e comparativa. A problemática que guia este estudo está centrada na seguinte questão: em que medida as tecnologias digitais melhoram a precisão e eficiência clínica nos tratamentos, e quais são as barreiras para sua implementação?

A relevância deste estudo reside no fato de que, apesar dos avanços tecnológicos, muitos consultórios ainda utilizam métodos convencionais de moldagem devido a seu baixo custo, barreiras tecnológicas e falta de conhecimento. Assim, a compreensão das vantagens e desvantagens de cada método pode auxiliar profissionais da odontologia na tomada de decisões mais informadas, contribuindo para a melhoria da qualidade dos tratamentos oferecidos aos pacientes e promovendo a modernização da prática clínica (Koulivand *et al*., 2020).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MOLDAGEM CONVENCIONAL: PRINCÍPIOS, APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES

A moldagem convencional é uma técnica consolidada na odontologia, desempenhando um papel central na confecção de próteses dentárias e dispositivos reabilitadores. Esse método, que utiliza materiais como alginato, silicones de adição e poliéteres, tem como objetivo criar uma reprodução exata da anatomia dentária do paciente. Após a obtenção do molde, um modelo positivo é criado ao preencher a impressão negativa com gesso ou resina acrílica. Essa prática é amplamente utilizada devido à sua acessibilidade e à familiaridade dos dentistas com o método (LEE; GALLUCCI, 2013).

Os silicones de adição destacam-se como padrão-ouro em moldagens definitivas, graças à sua elevada estabilidade dimensional e à capacidade de reprodução precisa de

detalhes anatômicos, sendo amplamente indicados em próteses fixas e tratamentos que demandam alta precisão (PETRIE *et al*., 2014). No entanto, a manipulação manual dos materiais, o transporte e as variações nas condições ambientais podem levar a distorções, reduzindo a eficácia clínica e comprometendo a adaptação marginal das próteses. Estudos mostram que as moldagens convencionais apresentam gaps marginais entre 50 e 120 µm, valores que, embora aceitáveis, são inferiores aos resultados obtidos com as técnicas digitais (NG *et al*., 2014; ABDUO; JUDGE, 2014).

A dependência da habilidade técnica do profissional é outra limitação importante. Qualquer erro na aplicação do material, no posicionamento do molde ou na manipulação subsequente pode acumular distorções que afetam negativamente o resultado final (LEE; GALLUCCI, 2013). Além disso, fatores como a expansão do gesso e a umidade durante o transporte podem introduzir variações dimensionais que impactam a precisão da restauração (ABDUO; JUDGE, 2014).

Do ponto de vista do paciente, o uso de materiais como o alginato pode ser desconfortável, especialmente para indivíduos com reflexo de vômito exacerbado. Esse desconforto é citado como um dos principais motivos de insatisfação em pacientes submetidos à moldagem convencional (SIQUEIRA *et al*., 2021). Apesar disso, o método convencional continua sendo amplamente ensinado nas instituições de ensino odontológico, refletindo sua relevância histórica e eficácia em situações clínicas específicas.

2.2 MOLDAGEM DIGITAL: INOVAÇÕES E BENEFÍCIOS

Com o avanço da tecnologia, a moldagem digital revolucionou a prática odontológica, oferecendo uma alternativa moderna e mais eficiente em comparação aos métodos convencionais. Os scanners intraorais permitem a captura direta das estruturas dentárias em formato tridimensional, utilizando tecnologias de luz estruturada ou laser. Essas imagens digitais são integradas a sistemas CAD/CAM, que processam os dados e fabricam próteses personalizadas de alta precisão (PATZELT *et al*., 2014; SIQUEIRA *et al*., 2021).

Uma das maiores vantagens da moldagem digital é sua capacidade de eliminar variáveis comuns no método convencional, como distorções causadas pela manipulação

do material ou pelo transporte do molde. Estudos indicam que os gaps marginais das próteses digitais são significativamente menores, variando de 20 a 50 µm, o que reflete diretamente na melhor adaptação e maior durabilidade das restaurações (ENDER; MEHL, 2013; MANGANO *et al*., 2017). Além disso, a precisão superior reduz a necessidade de ajustes posteriores, otimizando a eficiência clínica (MORSY *et al*., 2021).

Outro benefício significativo está na experiência do paciente. A moldagem digital elimina o desconforto associado aos materiais analógicos, melhorando a aceitação e a adesão ao tratamento. Siqueira *et al.* (2021) ressaltam que os pacientes relatam maior satisfação com scanners intraorais devido à rapidez e ao menor invasivo do procedimento.

A eficiência no fluxo de trabalho digital também é um diferencial. Com a possibilidade de visualização em tempo real e correções imediatas, os profissionais podem evitar retrabalhos e reduzir o tempo clínico. Além disso, a transmissão de arquivos digitais aos laboratórios de prótese elimina a necessidade de moldes físicos, acelerando a produção e minimizando o risco de danos durante o transporte (PATEL, 2010; MANGANO *et al*., 2017).

2.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Estudos comparativos entre os métodos convencional e digital demonstram que a tecnologia digital supera amplamente o analógico em termos de precisão e eficiência. Abduo e Palamara (2021) destacam que "a discrepância na adaptação marginal das próteses fabricadas a partir de moldagens digitais é significativamente menor, refletindo diretamente na qualidade clínica". A moldagem digital também apresenta benefícios econômicos a longo prazo, reduzindo custos operacionais relacionados a ajustes e retrabalhos (PATEL, 2010).

Por outro lado, o método convencional permanece relevante em situações específicas, como em consultórios com recursos limitados ou para tratamentos menos complexos. Ng *et al*. (2014) argumentam que "a moldagem convencional, quando executada com precisão, oferece resultados confiáveis e adequados para muitas aplicações clínicas". Essa complementaridade reflete a coexistência dos dois métodos na prática odontológica contemporânea.

2.4 DESAFIOS DA MOLDAGEM DIGITAL: CUSTOS E CURVA DE APRENDIZADO

Apesar de suas vantagens, a moldagem digital apresenta desafios que devem ser considerados. O custo inicial de aquisição dos equipamentos, como scanners intraorais e sistemas CAD/CAM, varia entre 100.000 e 200.000 reais, tornando-se uma barreira para muitos consultórios, especialmente aqueles de pequeno porte (SIQUEIRA *et al*., 2021).

Além disso, a introdução da tecnologia digital requer treinamento extensivo dos profissionais para garantir sua aplicação eficiente. A curva de aprendizado associada ao uso de scanners e softwares CAD/CAM pode ser demorada, representando um desafio adicional para clínicas que optam pela transição do analógico para o digital (NG *et al*., 2014).

Os modelos disponíveis no mercado também apresentam variações significativas em termos de precisão, integração com sistemas CAD/CAM e robustez do software. Mangano et al. (2017) destacam que scanners de alta gama, como o 3Shape TRIOS, oferecem resultados mais confiáveis, mas demandam investimentos financeiros e técnicos consideráveis.

2.5 IMPACTOS CLÍNICOS E RELEVÂNCIA SOCIAL

A moldagem digital não é apenas uma inovação tecnológica, mas também uma solução que reflete uma evolução na prática clínica e na experiência do paciente. A precisão superior das próteses fabricadas com tecnologia digital contribui para maior longevidade e adaptação das restaurações, promovendo resultados mais satisfatórios para os pacientes. Além disso, a otimização do tempo clínico e a redução de desconfortos associados aos métodos tradicionais representam ganhos significativos tanto para os profissionais quanto para os pacientes (PATZELT *et al*., 2014).

A relevância da transição para a moldagem digital também se manifesta no âmbito social, ao atender às demandas crescentes por tratamentos odontológicos mais rápidos e eficazes. Essa tecnologia representa uma oportunidade para transformar o padrão de atendimento, reduzindo desigualdades no acesso a soluções avançadas. Entretanto, para que essa transformação seja efetiva, é necessário superar as barreiras econômicas e promover capacitações que democratizem o uso da tecnologia digital na odontologia.

3. MOLDAGEM CONVENCIONAL

A moldagem convencional, ainda amplamente utilizada, consiste em capturar impressões da anatomia dentária por meio de materiais aplicados diretamente sobre a arcado do paciente, criando uma impressão negativa que é preenchida com gesso para formar um modelo positivo.

Esse tipo de moldagem depende de materiais como alginato, silicones de adição e poliéteres, escolhidos por suas propriedades de estabilidade dimensional e capacidade de captar detalhes anatômicos. O alginato é uma opção comum para moldagens preliminares, sendo rápido e de baixo custo, mas de precisão inferior em comparação aos elastômeros. Já o silicone de adição é considerado padrão ouro para casos que exigem alta precisão, pois apresenta excelente reprodução de detalhes e estabilidade. Por sua vez, os poliéteres são indicados para ambientes úmidos e possuem alta capacidade hidrofílica, adequados para situações em que a presença de fluido gengival possa afetar a moldagem (Ng *et al*., 2014).

Esse método envolve várias etapas, incluindo a preparação do dente, escolha de moldeiras, aplicação do material, remoção da impressão e avaliação para verificação de distorções. O modelo obtido é vazado em gesso para servir de base na confecção de próteses e restaurações. Embora seja um processo consolidado, está sujeito a distorções, especialmente devido à contração do material e ao manuseio manual, o que pode comprometer a precisão final da restauração.

4. SURGIMENTO E EVOLUÇÃO DOS SCANNERS INTRAORAIS

O surgimento dos scanners intraorais marca um ponto importante na transição da odontologia convencional para a odontologia digital. O conceito de digitalização na odontologia tem suas raízes nas décadas de 1980 e 1990, com o desenvolvimento dos primeiros sistemas CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing), que tinham como principal objetivo automatizar e melhorar a precisão da confecção de próteses dentárias. Os primeiros scanners intraorais, como o CEREC (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics), desenvolvido pela Siemens em 1987, foram os pioneiros na captura digital da morfologia dental diretamente na boca do paciente (Patel,2014). Esses dispositivos, embora rudimentares em comparação com os

modelos atuais, abriram o caminho para uma nova era na odontologia, permitindo que próteses fossem projetadas e fabricadas com maior eficiência e precisão.

Com o avanço da tecnologia, os scanners intraorais evoluíram significativamente. Equipamentos como o 3Shape TRIOS e o iTero Element, atualmente utilizados na prática clínica, são capazes de capturar a anatomia dentária com altíssima precisão, utilizando luz estruturada ou tecnologia a laser para criar uma representação tridimensional da cavidade oral em tempo real (Koulivand *et al*., 2020).

4.1 LUZ ESTRUTURADA

Na tecnologia de luz estruturada, o scanner projeta um padrão de luz sobre as superfícies dos dentes e gengivas. Essa luz é composta por várias linhas ou grades, que ao serem projetadas sobre a anatomia da boca, sofrem distorções de acordo com as variações da superfície. Um ou mais sensores ópticos no scanner capturam essas distorções da luz e as convertem em dados tridimensionais através de algoritmos que reconstroem a forma exata da estrutura escaneada (Patel, 2014).

O processo ocorre de forma muito rápida, e a imagem digital aparece em uma tela em tempo real. À medida que o dentista movimenta o scanner pela cavidade oral do paciente, novos dados são capturados e integrados ao modelo tridimensional, formando uma imagem 3D completa e precisa da arcada dentária. A captura contínua de dados elimina as lacunas e imperfeições presentes nos moldes físicos, criando um modelo digital de alta resolução que pode ser utilizado diretamente para a confecção de próteses, alinhadores ou outros dispositivos odontológicos.

4.2 LASER

Outra tecnologia utilizada em scanners intraorais é o laser, que funciona de maneira similar à luz estruturada, mas com uma fonte de luz laser em vez de luz visível. A luz laser é projetada sobre a superfície dos dentes e a variação no comprimento da onda refletida indicam a topografia da superfície escaneada. Os dados capturados são processados para gerar um modelo tridimensional detalhado. A vantagem do laser em relação à luz estruturada é que ele pode ser mais preciso em ambientes com maior

iluminação, uma vez que o laser é menos suscetível a interferências de luz externa (Mangano *et al*., 2017).

Além disso, muitos scanners intraorais modernos combinam as duas tecnologias, utilizando luz estruturada para capturar a forma geral e o laser para fornecer detalhes mais precisos, como a textura da superfície dental. Isso resulta em um modelo tridimensional extremamente detalhado que pode ser utilizado para a fabricação precisa de próteses, restaurando com exatidão a funcionalidade e a estética do paciente.

Tabela 1 - Comparação de tecnologias de Scanners Intraorais

Tecnologia de Scanner	**Precisão (µm)**	**Principais Aplicações**	**Exemplos de Equipamento**
Luz Estruturada	20 – 30 µm	Escaneamento geral arcadas	TRIOS (3Shape), CEREC (Dentsply Sirona)
Laser	15 – 25 µm	Alta precisão para detalhes	iTero (Align Technology)
Combinado (Luz + Laser)	10 – 20 µm	Detalhamento fino e captura 3D	3Shape TRIOS

Figura 1 - Funcionamento da luz estruturada de um scanner intraoral

Fonte: SCHEIN, Henry. Le Scanner Intra-oral en CFAO. Le FILL Dentaire, 2017[1]

5. MECANISMO DE AÇÃO DO SISTEMA CAD/CAM

O sistema CAD/CAM, que significa Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (Design e Manufatura Assistidos por Computador), tem revolucionado o processo de confecção de próteses dentárias, oferecendo maior precisão, eficiência e previsibilidade. Ele integra duas etapas principais: a fase de design digital (CAD) e a fase de manufatura subtrativa (CAM). Esse sistema permite que os profissionais odontológicos projetem próteses e as fabriquem diretamente a partir de blocos de materiais, como cerâmica, zircônia e dissilicato de lítio.

5.1 FASE DE DESIGN (CAD)

A fase de CAD começa após a captura da imagem digital da boca do paciente, normalmente realizada por meio de scanners intraorais, que criam um modelo tridimensional da arcada dentária. O arquivo digital gerado, geralmente em formato STL (Standard Tessellation Language), é então carregado em um software de design odontológico. Este software é especialmente desenvolvido para permitir que o profissional crie virtualmente a prótese dentária — seja uma coroa, uma ponte, um inlay/onlay ou um implante — de maneira altamente precisa e personalizada.

No software CAD, o dentista ou técnico pode manipular o modelo digital para ajustar a prótese de acordo com as especificidades anatômicas do paciente. O design inclui detalhes como oclusão (ajuste da mordida), contornos gengivais, forma, tamanho e espessura da restauração. Além disso, o software CAD permite simulações oclusais e de ajuste, garantindo que a prótese esteja perfeitamente adaptada às estruturas adjacentes antes de ser fabricada (Patel, 2014).

[1] Disponível em: <lefilldentaire.com/articles/pratique/fiche-clinique/scanner-intra-oral-cfao-2/>. Acesso em: 17 set. 2024.

Figura 2 - Captura de tela de sistema CAD de design de uma restauração sob dente digitalizado.

Fonte: Pagina da Dentisply Sirona[2]

5.2 FASE DE MANUFATURA (CAM)

Uma vez que o design da prótese está completo e aprovado, o arquivo digital é enviado para a fase de manufatura (CAM). O CAM usa a tecnologia de fresagem subtrativa, em que uma máquina fresadora remove material de um bloco sólido para esculpir a prótese final, conforme o design criado no CAD. O processo de fresagem é altamente preciso e pode ser ajustado para operar em múltiplos eixos (normalmente de três a cinco eixos), o que permite à máquina fresar a peça a partir de diferentes ângulos, criando uma prótese com forma exata e detalhada (Mangano *et* al., 2017).

A fresadora utiliza brocas rotativas de alta precisão para cortar o material. Esses materiais podem variar entre zircônia, dissilicato de lítio, cerâmica ou resinas compostas, sendo escolhidos de acordo com o tipo de prótese ou oclusão necessária. A fresadora segue o caminho de corte determinado pelo software CAM, que calcula com extrema precisão o volume de material a ser removido e a trajetória exata da ferramenta de corte.

[2] Disponível em: <https://www.dentsplysirona.com/it-it/scopri/scopri-per-categoria/cad-cam/software-dentale-cad.html>. Acesso em: 29 set. 2024.

Figura 3 - Fresadora cortando bloco de dissilicato e bloco de zircônia

Fonte: Página da Talmax[3]

5.3 MECANISMO DE FRESAGEM SUBTRATIVA

No processo de fresagem subtrativa, o material é removido do bloco sólido para formar a prótese desejada. Isso contrasta com métodos aditivos, como impressão 3D, onde o material é adicionado camada por camada. A fresagem subtrativa é amplamente utilizada em odontologia porque garante alta precisão e acabamento superficial, crucial para próteses como coroas, pontes e inlays/onlays, que precisam se ajustar perfeitamente ao espaço preparado pelo dentista.

A fresagem pode ocorrer em diferentes velocidades e com diferentes tamanhos de brocas, dependendo do tipo de material utilizado e do nível de detalhe requerido para a peça. O processo é automatizado e monitorado por software, o que garante consistência e minimiza a intervenção humana. Após a fresagem, a prótese pode passar por processos adicionais, como polimento ou sinterização (no caso de zircônia), para aumentar sua resistência e estética (Koulivand *et al*., 2020).

[3] Disponível em: < https://talmax.com.br/zirkonzahn/fresadora-m1/>. Acesso em: 29 set. 2024.

6. INTEGRAÇÃO ENTRE CAD E CAM

A integração entre as fases de CAD e CAM é um dos maiores avanços do sistema. Uma vez que o design é concluído no software CAD, ele pode ser imediatamente enviado para a fresadora CAM, o que elimina a necessidade de etapas manuais que são comuns no processo de moldagem tradicional, como a criação de moldes de gesso e o envio de moldes físicos para o laboratório. Essa integração digital reduz significativamente o tempo total do tratamento e minimiza erros, como a deformação do molde durante o transporte ou a variação na adaptação da prótese (Haddadi *et al*., 2019).

Além disso, o sistema CAD/CAM facilita ajustes em tempo real. Caso o dentista perceba, durante a prova da prótese, que ajustes são necessários, o arquivo digital pode ser rapidamente modificado e uma nova prótese pode ser fresada, eliminando a necessidade de repetir todo o processo de moldagem, como ocorreria em técnicas convencionais.

7. DIFERENÇAS NO GAP MARGINAL

Um dos aspectos mais críticos para o sucesso de próteses e restaurações é o gap marginal, que se refere à lacuna entre a prótese e o dente preparado. Esse espaço é medido em micrômetro (µm), uma unidade que corresponde a um milésimo de milímetro, e está diretamente relacionado à durabilidade da restauração e à possibilidade de uma possível infiltração.

Na moldagem convencional, essa lacuna tende a ser maior devido às diversas etapas manuais, como a criação do molde com materiais como alginato ou silicones de adição e o vazamento do modelo em gesso. Essas etapas estão sujeitas a distorções, que podem resultar em gaps marginais de 74 ± 47 µm (Haddadi *et al*., 2019). Embora essa variação seja clinicamente aceitável, ela representa um maior risco de infiltrações e falhas ao longo do tempo.

Por outro lado, a moldagem digital oferece gaps significativamente menores, em torno de 48 ± 25 µm, graças a eliminação das etapas intermediárias e ao controle mais preciso do processo. A captura digital dos dentes e gengivas permite uma adaptação

marginal muito mais precisa, o que resulta em menos ajustes durante a cimentação e maior conforto para o paciente (Ng *et al*., 2014).

8. ARMAZENAMENTO E ARQUIVAMENTO DE MOLDES

Outra diferença importante entre as técnicas convencionais e digitais está no armazenamento e arquivamento dos moldes. Nos métodos convencionais, os moldes físicos, após serem vazados em gesso, precisam ser armazenados em ambientes adequados para evitar sua degradação. Esses modelos estão sujeitos a rachaduras e deformações, e seu armazenamento ocupa grande espaço físico em clínicas e laboratórios (Ng *et al*., 2014).

Em contraste, a moldagem digital permite que os arquivos tridimensionais sejam salvos em formato STL, que podem ser armazenados em servidores locais ou na nuvem. Isso elimina o risco de degradação e permite o acesso imediato ao histórico do paciente, facilitando o acompanhamento a longo prazo. Além disso, esses arquivos podem ser facilmente compartilhados com laboratórios, independentemente da localização geográfica, acelerando o processo de confecção das próteses e melhorando a comunicação entre profissionais (Mangano *et al*., 2017).

9. CUSTOS DOS SISTEMAS DIGITAIS

Embora os sistemas digitais CAD/CAM ofereçam inúmeros benefícios em termos de precisão, eficiência e conforto para o paciente, é essencial abordar os custos associados à implementação dessas tecnologias. O investimento inicial para adquirir um sistema completo CAD/CAM, que inclui um scanner intraoral, software de design CAD e fresadora, pode variar entre R$ 450.000 e R$ 560.000, dependendo da marca e das especificações (Spherical Insights, 2023). Por outro lado, os scanners intraorais individuais custam entre R$ 100.000 e R$ 200.000, enquanto as fresadoras podem chegar a R$ 300.000.

Essa barreira de custo inicial pode ser significativa para consultórios menores, que ainda dependem de laboratórios externos para a confecção de próteses. No entanto, clínicas que possuem um fluxo elevado de pacientes e oferecem serviços de alto valor agregado, como próteses personalizadas e tratamentos em uma única visita, podem

justificar o investimento pela economia gerada a longo prazo. Com a redução de terceirizações, eliminação de ajustes excessivos e aumento da satisfação do paciente, os sistemas CAD/CAM tendem a proporcionar um retorno sobre o investimento positivo em poucos anos de uso (Fortune Business Insights, 2023).

Tabela 2:

Tabela 2 - Comparativo de preços e características de sistemas CAD/CAM e scanners intraorais.

Sistema/Scanner	Faixa de Preço	Características	Uso	Marcas
Sistema Completo CAD/CAM	R$450.000 – R$560.000	Inclui scanner, fresadora e software para restaurações completas	Clínicas, laboratórios e sistemas chair-side	3Shape, Dentsply Sirona, Planmeca
Scanners Intraorais	R$100.00 – R$200.000	Escaneamento 3D de alta precisão para impressões digitais	Clínicas odontológicas, ortodontia	TRIOS (3Shape), iTero (Align Technology)
Fresadoras Avulsas	R$200.000 – R$300.000	Tecnologia de manufatura subtrativa para coroas e pontes	Laboratórios e consultórios	Roland, Planmeca, Straumann
Sistemas CAD/CAM Chairside	R$350.000 – R$500.000	Escaneamento, design e manufatura em uma única visita	Sistemas chair-side	Dentsply Sirona (CEREC), Planmeca

Fonte: Coherent Market Insights[4]

[4] Disponível em: < https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/dental-cad-cam-devices-market-2412>. Acesso em 17 ago. 2024.

 Sistema Completo CAD/CAM: Os sistemas completos, que incluem escaneamento e fresagem, variam entre R$ 450.000 a R$ 560.000. São ideais para clínicas e laboratórios que realizam todo o processo internamente.

 Scanners Intraorais: Equipamentos como o TRIOS ou iTero têm um custo de R$ 100.000 a R$ 200.000, sendo amplamente usados em clínicas para impressões digitais de alta precisão.

 Fresadoras Avulsas: As fresadoras usadas para criar coroas e outras próteses custam entre R$ 200.000 a R$ 300.000, permitindo que os consultórios fabriquem suas próprias próteses.

 Sistemas Chair-side CAD/CAM: Sistemas como o CEREC, que integram escaneamento e fresagem no mesmo consultório, têm um custo de R$ 350.000 a R$ 500.000, sendo ideais para quem deseja realizar restaurações em uma única consulta.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços tecnológicos têm transformado a prática odontológica, promovendo melhorias significativas nas técnicas de moldagem e nos resultados clínicos. Ao longo deste trabalho, foram analisadas as diferenças entre os métodos de moldagem convencional e digital, com foco em aspectos como precisão, eficiência, custo-benefício e aceitação dos pacientes. Os resultados obtidos demonstram que, embora a moldagem convencional continue sendo amplamente utilizada devido à sua acessibilidade econômica e longa história de sucesso clínico, ela apresenta limitações importantes, como suscetibilidade a distorções, desconforto dos pacientes e maior complexidade do processo, especialmente em casos mais desafiadores (NG et al., 2014; HADDADI et al., 2019).

Por outro lado, a moldagem digital surgiu como uma alternativa moderna que aborda muitas dessas limitações. A utilização de scanners intraorais e sistemas CAD/CAM tem proporcionado maior precisão nas próteses, com gaps marginais mais reduzidos, geralmente entre 20 a 50 micrômetros, quando comparados aos valores de 50 a 120 micrômetros obtidos pelas técnicas convencionais (ENDER; MEHL, 2013; MANGANO et al., 2017). Essa precisão reflete diretamente na longevidade das restaurações, na prevenção de problemas secundários, como infiltração bacteriana, e na melhoria dos resultados clínicos. Além disso, a moldagem digital oferece maior conforto

aos pacientes e uma experiência menos invasiva, um aspecto que tem impulsionado sua aceitação e preferência em consultórios odontológicos (SIQUEIRA et al., 2021).

Apesar dos benefícios evidentes, a adoção da tecnologia digital enfrenta desafios que não podem ser ignorados. O alto custo dos equipamentos, como scanners intraorais e sistemas CAD/CAM, é uma barreira significativa, especialmente em clínicas odontológicas de pequeno porte ou em regiões com acesso limitado a recursos financeiros. Além disso, a curva de aprendizado associada à operação desses sistemas exige treinamento intensivo, algo que pode desmotivar profissionais habituados aos métodos convencionais (ABDULJAWAD; RAYYAN, 2022). No entanto, estratégias como a oferta de programas de capacitação e incentivos fiscais podem facilitar a transição para o uso de tecnologias digitais, democratizando seu acesso e aumentando sua viabilidade econômica.

Outro aspecto relevante é a sustentabilidade das tecnologias digitais. A eliminação de moldes físicos e o uso de arquivos digitais reduzem o impacto ambiental associado à produção e descarte de materiais de moldagem. Essa característica pode alinhar a odontologia digital às demandas crescentes por práticas mais sustentáveis, atendendo tanto a exigências ambientais quanto às necessidades clínicas. Assim, os sistemas CAD/CAM e scanners intraorais não são apenas uma solução tecnológica, mas também um avanço significativo em direção a práticas mais ecologicamente responsáveis (PATEL, 2010).

A análise apresentada neste trabalho reforça a importância de integrar as tecnologias digitais à prática odontológica, reconhecendo tanto seus benefícios quanto os desafios associados à sua implementação. A moldagem digital não apenas melhora a eficiência e a qualidade dos tratamentos, mas também redefine os padrões de cuidado, trazendo a odontologia para um patamar mais avançado, alinhado às expectativas dos pacientes e às demandas contemporâneas do setor.

Com base nos achados deste estudo, recomenda-se que futuros trabalhos investiguem métodos para reduzir os custos dos equipamentos digitais e aprimorar os programas de treinamento, facilitando a integração dessas tecnologias em diferentes contextos clínicos. Além disso, estudos de longo prazo são necessários para avaliar a

durabilidade e os resultados clínicos das próteses fabricadas por meio de moldagem digital em comparação às convencionais.

Por fim, é evidente que o avanço para a odontologia digital representa um passo significativo para a modernização da prática clínica. Ao superar as limitações dos métodos analógicos, as tecnologias digitais oferecem um futuro promissor para a odontologia, com benefícios tangíveis tanto para os profissionais quanto para os pacientes, promovendo tratamentos mais rápidos, precisos e confortáveis, e, ao mesmo tempo, sustentáveis e alinhados às tendências globais de inovação.

11. REFERÊNCIAS

ABDUO, J.; PALAMARA, J. Accuracy of intraoral scanning compared with conventional impressions and stone casts: A systematic review. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 126, n. 1, p. 102-111, 2021.

ABDULJAWAD, A. R.; RAYYAN, M. R. Comparison of marginal fit accuracy of endocrowns fabricated using conventional and digital workflow: An in vitro study. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 127, n. 4, p. 616-623, 2022.

GHERLONE, E. F.; CAPPELLINI, F.; CAPPA, F.; ROSSELLI, M.; FERRINI, F.; RABELLINO, M. Accuracy of three intraoral scanners and a standart laboratory scanner in the partial and complete arch: A comparative in vitro study. **BMC Oral Health**, v. 16, n. 1, p. 1-7, 2016.

HADDADI, Y.; MOUHAYA, S.; BERTRAND, C.; GIRARD, F.; FAVRE, P. A.; COHEN, N. Marginal and internal fit of lithium disilicate crowns fabricated using conventional and digital impressions: A clinical study. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 121, n. 5, p. 775-782, 2019.

KOULIVAND, S.; KOUHROUBI, R.; BEIGI, P.; SHAHROKH, H.; KHORRAMIAN, H. Comparing the marginal fit and internal adaptation of CAD/CAM and press-laboratory all-ceramic crowns fabricated by digital and conventional impressions. **Journal of Advanced Prosthodontics**, v. 12, n. 3, p. 164-170, 2020.

MANGANO, F. G.; LUONGO, G.; MIGLIARIO, M.; MORTELLARO, C.; MANGANO, N.; MANGANO, C. Combining intraoral and face scans for the design and fabrication of computer-assisted design/computer-assisted manufacturing implant-supported full-arch prostheses: A dental technique. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 117, n. 6. P. 735-743, 2017.

NG, J.; BOEY, W.; CHEW, C. Digital versus conventional techniques for crown and bridge impressions: A systematic review. **Journal of Prosthodontics**, v. 23, n. 7, p. 496-502, 2014.

PATEL, N.; TAVS, J.; ENEIX, J.; SCANLON, J. In vitro study of the accuracy of four intraoral scanners. ***Journal of Prosthetic Dentistry***, v. 126, n. 5, p. 566-572, 2021.

SIQUEIRA, R.; CAVALCANTI, R. F.; HIRATA, R. Clinical outcomes of conventional versus digital impressions: A systematic review. ***Journal of Prosthetic Dentistry,*** v. 125, n. 3, p. 360-366, 2021.

UEDA, K.; NAKAMURA, T.; NAKAMURA, K.; FUKAZAWA, K.; KANDA, S. Evaluation of the marginal and internal fit of fixed dental prostheses fabricated using digital and conventional methods. ***Journal of Prosthodontic Research,*** v. 60, n. 4, p. 351-356, 2016.

VAZ, N. P.; CARRACHO, R. Comparative analysis of the marginal fit of zirconia copings obtained by different impression techniques. ***Journal of Dental Research and Review,*** v. 7, n. 2, p. 45-50, 2020.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Dental CAD/CAM Market to Reach USD 3.95 Billion by 2027. *Fortune Business Insights*, 2023. Disponível em: https://www.fortunebusinessinsights.com/. Acesso em: 17 ago. 2024.

SPHERICAL INSIGHTS. United States Dental CAD/CAM Market Size & Forecast. *Spherical Insights*, 2023. Disponível em: https://www.sphericalinsights.com/. Acesso em: 17 ago. 2024.