

Fatores que influenciam a precisão no escaneamento intraoral

Factors influencing the accuracy of intraoral scanning

Factores que influyen en la precisión del escaneo intraoral

Recebido: 09/01/2025 | Revisado: 14/01/2025 | Aceitado: 14/01/2025 | Publicado: 18/01/2025

Camila Santiago Shiguemoto

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4021-5800>

Centro Universitário Leonardo da Vinci, Brasil

E-mail: ss_camila@hotmail.com

Leandro Edgar Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7545-1760>

Centro Universitário Avantis, Brasil

E-mail: le.edpacheco@gmail.com

Vitor Schweigert Bona

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0047-0320>

Centro Universitário Leonardo da Vinci, Brasil

E-mail: vsbona@gmail.com

Resumo

Esta revisão teve como objetivo identificar estudos que relatassem os fatores que influenciam na precisão de escaneamentos intraorais. Foram realizadas buscas por artigos de língua portuguesa e inglesa, nas bases de dados PubMed, Scielo, Lilacs e Google Acadêmico, com os descritores “odontologia digital, precisão, scanner intraoral e escaneamento”, publicados entre os anos de 2006 e 2024. Foram encontrados no total 41 artigos, sendo que após a leitura do título e resumo, 28 artigos foram selecionados para esta revisão. Os scanners intraorais apresentam distorções inerentes, devido a imperfeições ópticas e de software. Fatores-chave que afetam a precisão do escaneamento incluem a experiência do operador, tempo de digitalização, tipo de scanner e tamanho da digitalização. Operadores mais experientes e tamanhos de digitalização menores proporcionaram digitalizações mais precisas. Conclui-se que para otimizar os resultados clínicos, é essencial um treinamento adequado e a escolha apropriada do equipamento, enfatizando a importância desses fatores na obtenção de escaneamentos precisos.

Palavras-chave: Odontologia; Digital; Precisão dimensional; Acurácia dimensional; Informática odontológica.

Abstract

This review aimed to identify available studies that reported the factors influencing the accuracy of digital dental impressions. Searches were carried out for articles in Portuguese and English, in databases PubMed, Scielo, Lilacs, and Google Scholar, with the descriptors “digital dentistry, precision, intraoral scanner, digital impression, scanning”, published between the years 2006 and 2024. 41 articles were found and after reading the title and abstract, only 28 were used for this review. The review found that intraoral scanners present inherent distortions, due to optical and software imperfections. Key factors that affect scanning accuracy include operator experience, scanning time, scanner type, and scan size. More experienced operators and smaller scan sizes provided more accurate scans. It was concluded that adequate training and appropriate choice of equipment are essential to optimize clinical results, emphasizing the importance of these factors in obtaining accurate fingerprints.

Keywords: Dentistry; Digital; Dimensional measurement accuracy; Dental informatics.

Resumen

Esta revisión tuvo como objetivo identificar estudios que reportaran los factores que influyen en la precisión de los escaneos intraorales. Se realizaron búsquedas de artículos en portugués e inglés en las bases de datos PubMed, Scielo, Lilacs y Google Académico, utilizando los descriptores “odontología digital, precisión, escáner intraoral y escaneo”, publicados entre los años 2006 y 2024. Se encontraron un total de 41 artículos, de los cuales, tras la lectura del título y el resumen, 28 fueron seleccionados para esta revisión. Los escáneres intraorales presentan distorsiones inherentes debido a imperfecciones ópticas y de software. Los factores clave que afectan la precisión del escaneo incluyen la experiencia del operador, el tiempo de digitalización, el tipo de escáner y el tamaño de la digitalización. Operadores más experimentados y tamaños de digitalización menores proporcionaron escaneos más precisos. Se concluye que, para optimizar los resultados clínicos, es esencial una formación adecuada y la elección apropiada del equipo, enfatizando la importancia de estos factores en la obtención de escaneos precisos.

Palabras clave: Odontología; Digital; Precisión de medición dimensional; Informática dental.

1. Introdução

A odontologia digital tem testemunhado uma revolução impulsionada pelo avanço tecnológico, promovendo mudanças substanciais na prática clínica. Entre essas transformações, destaca-se a transição das tradicionais impressões para o escaneamento intraoral digital, um marco que não apenas proporciona maior eficiência, mas também um novo nível de conforto tanto para os pacientes quanto para os profissionais (Beuer et al., 2008; Rekow, 2020).

Apesar dos benefícios evidentes do escaneamento digital, como a redução do tempo clínico e a eliminação do uso de materiais convencionais, ainda existem desafios a serem superados, como o investimento significativo em equipamentos e a necessidade de habilidades técnicas por parte dos profissionais (Akyalcin et al., 2013; Kim et al., 2016).

Estudos, como o realizado por Renne et al. (2017), têm revelado variações significativas na precisão entre diferentes scanners intraorais, especialmente ao considerar a captura de sextantes ou arcadas completas. Além disso, aspectos como a experiência do operador, o tamanho do escaneamento e as condições de iluminação ambiente foram identificados como determinantes fundamentais na qualidade dos resultados obtidos (Revilla-León et al., 2020; Resende et al., 2021).

O avanço contínuo das tecnologias digitais na odontologia, incluindo o uso do *Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing* (CAD/CAM), tem impulsionado progressos notáveis na fabricação de restaurações dentárias, destacando a importância de entender como cada etapa do fluxo de trabalho digital influencia diretamente na precisão do resultado final (Blatz & Conejo, 2019; Bernauer & Zitzmann, 2023).

Esta revisão teve como objetivo identificar estudos que relatassem os fatores que influenciam na precisão de escaneamentos intraorais.

2. Metodologia

Com base na metodologia de Honório e Santiago (2021), para a realização desta revisão narrativa de literatura foram utilizados descritores em ciências da saúde. A coleta de dados foi realizada nas seguintes bases eletrônicas: PubMed, Scielo, Lilacs e Google Acadêmico. A pesquisa foi limitada a artigos publicados nos idiomas inglês e português, compreendendo um intervalo de publicação entre os anos de 2006 até 2024. Foram empregadas combinações de palavras-chave para um delineamento adequado do assunto abordado, tais como: “odontologia digital”, “precisão”, “scanner intraoral”. A busca foi realizada em periódicos nacionais e internacionais indexados nas bases de dados mencionadas, incluindo artigos que avaliavam o escaneamento bucal e os fatores que influenciam. Artigos cujo tema não guardava relação com os objetivos desta revisão, relatos de casos e cartas ao leitor foram excluídos.

3. Revisão de Literatura

Técnicas com escaneamentos dentais podem eliminar as possíveis deficiências dos modelos dentários tradicionais. Os scanners de consultório oferecem a vantagem de obter modelos dentários digitais diretamente do paciente, sem a necessidade de moldagens dentárias. O objetivo do estudo de Akyalcin et al. (2013) foi avaliar a precisão de modelos digitais tridimensionais adquiridos de um scanner intraoral de consultório em comparação com medidas manuais e de tomografia computadorizada de feixe cônico da mesma anatomia dentária. A amostra do estudo foi composta por 60 crânios secos. Cada crânio teve os arcos maxilar e mandibular escaneados com um scanner Cadent iTero (Align Technology, San Jose, Califórnia) e uma tomografia computadorizada de feixe cônico realizada com uma unidade CS 9300 (Carestream Health, Atlanta, Geórgia). Medições lineares em todas as 3 dimensões do espaço em cada arcada dentária, juntamente com a análise do tamanho do comprimento do arco dentário para ambas as arcadas maxilar e mandibular. As medições foram realizadas manualmente nos crânios secos com paquímetros, digitalmente em modelos tridimensionais escaneados e em tomografia

computadorizada de feixe. A análise de correlação intraclasse foi realizada para todas as variáveis testadas nos grupos de estudo, tendo as medidas manuais nos crânios secos como padrão ouro. A análise de Bland-Altman também foi aplicada aos dados para exibir graficamente a concordância das medidas diagnósticas obtidas por esses métodos. A aquisição digital direta das arcadas dentárias com um scanner de consultório forneceu informações diagnósticas quase 1 para 1 da anatomia investigada e foi superior às medidas de tomografia computadorizada de feixe cônico.

À medida que os escaneamentos intraorais se tornam mais comuns e mais sistemas scanners são lançados no mercado, é essencial avaliar de forma sistemática e objetiva a sua precisão. O objetivo do estudo *in vitro* de Renne et al. (2017) foi avaliar e comparar a veracidade e precisão de 6 scanners intraorais e 1 scanner de laboratório em cenários de sextante e arco completo. Além disso, o tempo de digitalização foi avaliado e correlacionado com veracidade e precisão. Um modelo personalizado de arcada completa foi fabricado com um índice de refração semelhante ao da estrutura dentária. Sete sistemas de impressão digital foram utilizados para escanear o modelo personalizado tanto para cenários de sextante posterior quanto de arco completo. A análise foi realizada utilizando software de metrologia tridimensional para medir discrepâncias entre o modelo mestre e os moldes experimentais. Os autores chegaram à conclusão de que para a digitalização do sextante, o Planscan foi considerado o scanner mais preciso e verdadeiro. Para digitalização de arcada completa, descobriu-se que o 3Shape Trios tem o melhor equilíbrio entre velocidade e precisão.

A pesquisa de Mennito et al. (2018) teve dois objetivos: determinar se o padrão e a sequência de digitalização afetam a precisão do modelo tridimensional (3D) criado a partir da impressão digital e comparar os 5 sistemas de imagem no que diz respeito à precisão da digitalização para impressões de sextante. Seis sistemas de impressão digital intraoral foram utilizados para escanear um sextante typodont com propriedades ópticas semelhantes às dos dentes naturais. As impressões foram feitas usando cinco padrões de digitalização diferentes e os modelos digitais resultantes foram sobrepostos a um modelo digital mestre para determinar a precisão de cada scanner. Além disso, independentemente do padrão de digitalização, cada sistema de impressão digital foi avaliado quanto à precisão dos outros sistemas da mesma maneira. Foi concluído que o padrão de digitalização não afeta significativamente a precisão do modelo digital resultante para a digitalização do sextante.

Abduo e Elseyoufi (2018) realizaram uma revisão sistemática a fim de avaliar a precisão dos sistemas IOS (scanners intraorais) disponíveis para moldagem dentária e identificar os fatores que podem influenciar na precisão. Um total de 2.305 estudos foram obtidos inicialmente e após aplicação dos critérios de inclusão, apenas 32 ficaram aptos para análise. Os seguintes sistemas foram incluídos na revisão: Cerec Bluecam, Cerec Omnicam, Cadent iTero, Lava C.O.S, Lava True Definition, TRIOS, TRIOS Color, E4D, Planscan, MHT, Carestream 3500 and Zfx IntraScan. Em comparação com impressões convencionais, o IOS pode ser usado de forma confiável para fins de diagnóstico e digitalização de curta duração. No entanto, para digitalização de arco completo, o IOS é suscetível a falhas. Os estudos indicam resultados variados. Embora a precisão dos sistemas IOS pareça promissora e comparável ao método convencional, ainda é vulnerável a imprecisões.

O estudo de Arakida et al. (2018) avaliou a influência da iluminância e da temperatura de cor da luz ambiente na veracidade, precisão e tempo de digitalização de uma impressão digital. Os dados mestres foram adquiridos com uma máquina de medição por coordenadas de alta precisão. A iluminação da luz ambiente foi definida em 0lux, 500lux e 2500lux com um diodo emissor de luz (LED). Usando um filtro de conversão, a temperatura da cor foi definida em 3.900 Kelvin (K) (amarelo), 4.100 K (laranja), 7.500 K (branco) e 19.000 K (azul). Havia, portanto, um total de 12 condições de iluminação possíveis. O modelo de referência foi escaneado cinco vezes sob cada condição por um IOS. A veracidade foi calculada como a diferença média entre os dados mestre e os dados experimentais. A precisão foi calculada como a diferença média entre as varreduras repetidas em cada grupo de teste. A condição de 3900K e 500lux é a condição de iluminação mais adequada para a realização de uma impressão digital. Esta condição é típica de ambientes clínicos. A luz ambiente de alta iluminância aumentou o tempo de digitalização.

A digitalização da área odontológica tem sido vigorosamente promovida nos últimos anos. Considera-se que uma impressão usando um IOS altera significativamente o tratamento odontológico futuro. Kihara et al. (2019) realizou uma revisão afim de avaliar a precisão e praticidade de vários scanners intraorais e métodos de verificação de IOS. Os escaneamentos intraorais atuais são considerados mais confortáveis do que as moldagens tradicionais que utilizam materiais de moldagem hidrocolóides e elastoméricos irreversíveis. Contudo, como o scanner intraoral é um dispositivo em evolução, espera-se uma melhoria adicional na precisão no futuro. Além disso, a verificação da precisão dos IOS deve ser conduzida adequadamente.

O uso de modelos digitais em Ortodontia está se tornando cada vez mais difundido. O estudo de Camci e Salmanpour (2020) teve como objetivo avaliar a precisão e o desempenho do escaneamento intraoral digital sob 4 condições ambientais intraorais diferentes. Quatro modelos digitais foram adquiridos com scanner intraoral TRIOS (3Shape) para 50 indivíduos. Um total de 200 modelos digitais foram divididos em 4 grupos: luz do dia e saliva (grupo 1), luz do dia sem saliva (grupo 2), luz do refletor e saliva (grupo 3) e ambiente oral relativamente escuro e saliva (grupo 4). Os 4 modelos digitais foram sobrepostos e as bordas dos modelos foram recortadas para criar limites comuns. Os modelos do grupo 2 foram utilizados como referência e sobrepostos separadamente aos modelos dos outros grupos. Os desvios entre os modelos correspondentes foram comparados como médias de desvio negativo, médias de desvio positivo, na área total, fora da área total, áreas posicionadas positivamente e áreas posicionadas negativamente. Além disso, todos os grupos foram comparados em termos de tempo de digitalização, número total de imagens e largura mesiodistal dos dentes. A conclusão foi que o desempenho do IOS foi afetado por diferentes condições ambientais, o que causou variações na superfície dos modelos digitais. Contudo, o desempenho do IOS foi independente do tempo de digitalização e da largura mesiodistal dos dentes.

Giachetti et al. (2020) realizaram um estudo com objetivo de determinar a precisão dos modelos digitais diretos in vivo e compará-la com as impressões convencionais, a fim de avaliar se os scanners intraorais poderiam ser uma alternativa legítima para a fabricação de próteses fixas. De acordo com os resultados da revisão, as moldagens convencionais realizadas com materiais de moldagem de alta precisão apresentaram maior precisão do que as moldagens digitais. No entanto, são altamente recomendados estudos adicionais que avaliem a precisão das moldagens digitais numa ampla variedade de situações clínicas.

O propósito do estudo de Revilla-León et al (2020) foi quantificar o impacto das condições de iluminação ambiente na exatidão (veracidade e precisão) de um IOS nos escaneamentos do arco completo maxilar e do quadrante superior direito foram realizados em um paciente. Um paciente dentado completo foi selecionado. Um molde completo do arco maxilar em vinil polissiloxano foi obtido e vazado com gesso tipo IV. O modelo de trabalho foi digitalizado utilizando um scanner de laboratório (E4 Dental Scanner; 3Shape) e o arquivo STL (Linguagem Triângulo Padrão, formato de arquivo comumente usado para impressão 3D e CAD) foi obtido. Dois grupos foram criados com base na extensão dos exames digitais maxilares realizados, nomeadamente grupos de arco completo (grupo CA) e quadrante direito (QR). Os exames digitais CA e RQ do paciente foram realizados utilizando um IOS (TRIOS 3; 3Shape) com 4 condições de iluminação: luz de cadeira (CL), 10.000 lux, luz ambiente (RL), 1.003 lux, luz natural (NL), 500 lux e sem luz (ZL), 0 lux. Dez varreduras digitais por grupo em cada configuração de luz ambiente (CL, RL, NL e ZL) foram obtidas consecutivamente (n = 10). O arquivo STL foi utilizado para analisar a discrepância entre o modelo de trabalho digitalizado e as varreduras digitais usando o software MeshLab. Foi concluído que as condições de luminosidade influenciaram significativamente na precisão do escaneamento do IOS avaliado. A condição RL obteve o menor valor de erro absoluto das varreduras digitais realizadas. A extensão da varredura digital foi um fator que influenciou a precisão da varredura. Quanto maior a extensão da varredura digital realizada, menores serão os valores de precisão obtidos. Além disso, as condições de digitalização da luz ambiente influenciaram de forma diferente dependendo da extensão das digitalizações realizadas.

Os escaneamentos intraorais têm se tornado cada vez mais uma alternativa às moldagens convencionais. Embora estudos anteriores tenham analisado a precisão dos IOS disponíveis, o efeito das condições de varredura com luz na precisão desses sistemas IOS permanece obscuro. Por isso, Revilla-León et al (2020) realizaram um estudo a fim de medir o impacto das condições de iluminação na exatidão (veracidade e precisão) de diferentes IOSs. Um typodont foi digitalizado usando um scanner extraoral (L2i; Imetric) para obter um arquivo de referência em STL. Foram avaliados três IOSs : diTero Element, CEREC Omnicam e TRIOS 3d com 4 condições de iluminação: luz de cadeira 10.000 lux, luz ambiente 1.003 lux, luz natural 500 lux e sem luz 0 lux. Dez varreduras digitais por grupo foram registradas. O arquivo STL foi usado como referência para medir a discrepância entre o typodont digitalizado e os escaneamentos digitais utilizando o software MeshLab. Concluíram que as condições de iluminação ambiente influenciaram a exatidão (veracidade e precisão) dos IOS testados. As condições de iluminação recomendadas dependem do IOS selecionado. Para o iTero Element, as condições de luz da cadeira e da sala resultaram em valores médios de melhor precisão. Para a CEREC Omnicam, a luz zero resultou em melhor precisão, e para o TRIOS 3, a luz ambiente resultou em melhor precisão.

O estudo in vitro de Latham et al. (2020) foi realizado a fim de determinar se o padrão de digitalização afeta a veracidade, precisão e velocidade de digitalização de arco completo realizadas usando 4 sistemas de digitalização diferentes. Um modelo customizado utilizado como padrão de referência foi fabricado com dentes com o mesmo índice de refração da dentina e do esmalte, para simular a dentição natural. A digitalização do typodont personalizado foi obtida usando um scanner óptico ATOS III Triple Scan 3D. Este estudo avaliou o CEREC Omnicam, Planmeca Emerald, Align iTero Element e 3Shape TRIOS 3. Quatro digitalizações experimentais foram adquiridas de cada um dos scanners usando 4 padrões de digitalização distintos para um total de 16 digitalizações para cada scanner. Os padrões de digitalização 1 a 4 foram baseados nos manuais do operador de cada scanner diferente. O tempo de digitalização foi registrado para cada digitalização. Todas as digitalizações experimentais foram convertidas para o formato STL, e o programa Geomagic Control X foi empregado para comparar a digitalização padrão de referência com as digitalizações experimentais. Foi constatado neste estudo que o padrão de digitalização afetou a veracidade e a precisão de alguns scanners, mas não de outros. Existem diferenças na velocidade de digitalização da arcada completa, na veracidade e na precisão de alguns scanners. O padrão de digitalização pode desempenhar um papel importante no sucesso da digitalização digital.

Revisar sistematicamente estudos clínicos e laboratoriais que investigaram a precisão dos IOS no registro de áreas portadoras de próteses foi o objetivo da pesquisa de Rasaie, Abduo & Hashemi (2021). Pesquisas eletrônicas e manuais foram realizadas para identificar todos os estudos clínicos e laboratoriais disponíveis que relatassem a precisão das impressões digitais para registrar tecidos moles relacionados a próteses. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão pré-determinados, a lista final de artigos foi revisada para atender ao objetivo deste estudo. Embora a precisão dos scanners intraorais fosse comparável às técnicas convencionais no registro de estruturas ósseas com mucosa aderida, eles não foram capazes de registrar com precisão os tecidos móveis. Além disso, fatores como a presença de um marcador, o tamanho maior da cabeça do scanner e técnicas específicas de digitalização pareceram melhorar a precisão da impressão digital.

Os IOS apresentam algumas distorções inerentes causadas por imperfeições ópticas e/ou de software. No entanto, não está claro como outros fatores, como experiência do operador, tempo de digitalização, tipo de scanner e tamanho de digitalização, influenciam a precisão da digitalização. Portanto Resende et al. (2021) realizaram um estudo in vitro com objetivo de avaliar a veracidade e precisão de exames realizados por 3 profissionais com diferentes níveis de experiência usando 2 IOS. Três operadores com níveis baixo, médio e alto de experiência digitalizaram um modelo mestre 10 vezes usando 2 IOSs (CEREC Omnicam; Dentsply Sirona e TRIOS 3; 3Shape), resultando em 10 arquivos STL para cada grupo (n=60). Cada arquivo foi dividido em 2 áreas (dentes preparados e arco completo). A precisão foi avaliada comparando os 10 exames de cada examinador para cada sistema. A veracidade foi avaliada comparando cada arquivo digitalizado com uma digitalização

de referência obtida de um scanner de laboratório (D2000; 3Shape). Um programa de software de análise 3D (Geomagic Control; 3D Systems) foi utilizado para realizar todas as comparações e sobreposições. A precisão dos exames intraorais foi influenciada pela experiência do operador, tipo de IOS e tamanho do exame. Operadores mais experientes e tamanhos de digitalização menores proporcionam digitalizações mais precisas. Além disso, operadores mais experientes realizaram varreduras mais rápidas, e o TRIOS 3 foi mais preciso que a CEREC Omnicam para varreduras de arcada completa.

O estudo de Koseoglu et al. (2021) foi realizado com 20 voluntários dentados completos. Após a confecção de moldes completos da arcada superior com material vinil polissiloxano, foi vazado gesso tipo IV e obtidos modelos de trabalho. Em seguida, os modelos foram digitalizados utilizando um scanner de laboratório dentário e foram adquiridos arquivos STL. Modelos digitais de arco completo dos voluntários também foram realizadas usando um dispositivo IOS com 2 condições de intensidades de iluminação e 2 temperaturas de cor de luz ambiente. Vinte modelos digitais por grupo em cada condição de luz foram obtidas consecutivamente. A discrepância entre os escaneamentos e os modelos de trabalho digitalizados foi analisada utilizando um software de inspeção 3D. Concluíram que as condições de iluminação são eficazes para avaliar a veracidade das impressões digitais feitas com um dispositivo IOS e as condições RLB (RL: luz ambiente 1003 lux e B: luz de digitalização azul) são recomendadas para fazer o escaneamento.

Ochoa-López et al. (2022) realizaram um estudo in vitro para avaliar o efeito da iluminância da luz ambiente na precisão e no tempo de escaneamento de diferentes IOS em escaneamentos de implantes de arco completo. Sete IOSs (TRIOS 3, Primescan, Element 5D, i700, i500, CS3700 e CS3600) em 5 iluminâncias de iluminação ambiente (100, 500, 1000, 5000 e 10.000 lux) foram avaliados. Um modelo edêntulo com 4 implantes foi selecionado como modelo mestre. O molde foi digitalizado usando um scanner de laboratório para obter um arquivo STL, e 50 varreduras (10 por condição de luz ambiente) foram registradas com cada IOS. O tempo de varredura foi registrado usando um cronógrafo digital. Os desvios da varredura intraoral foram calculados utilizando um programa de metrologia 3D (Geomagic Control X). A luz ambiente influenciou a precisão e o tempo de varredura dos IOS avaliados; no entanto, o efeito não foi o mesmo para todos os dispositivos. É necessário otimizar a iluminância da luz ambiente para cada IOS para maximizar a precisão da digitalização.

Chen et al. (2022) realizaram um estudo in vitro para avaliar a influência do líquido aderido às superfícies dentárias na exatidão (veracidade e precisão) dos IOS e a eficácia do método de secagem (utilizando ar comprimido) para excluir a influência do líquido nos resultados do escaneamento. Um modelo mandibular foi escaneado utilizando um scanner de tomografia computadorizada industrial para obter um modelo de referência. Uma plataforma de escaneamento foi projetada para simular três estados específicos da superfície dentária (seco, molhado, seco com jato de ar). Dois tipos de líquidos (água ultrapura e saliva artificial) foram utilizados para o teste. Dois scanners intraorais (Trios 3 e Primescan) foram utilizados para escanear o modelo da mandíbula 10 vezes em cada condição. Todos os dados de digitalização foram processados e analisados usando software dedicado (Geomagic Control). A comparação de veracidade e precisão foi realizada dentro dos 12 grupos de modelos 3D divididos com base em diferentes IOS e líquidos utilizados em cada condição. O valor da raiz quadrada média foi utilizado para indicar a diferença entre os modelos virtuais alinhados. O estudo conclui que o líquido na superfície do dente pode afetar a precisão do escaneamento intraoral. A secagem com uma seringa tríplice pode reduzir erros de digitalização.

Já em outro estudo realizado por Chen et al. (2022) teve como objetivo medir e comparar a exatidão (veracidade e precisão) de scanners intraorais e scanners de mesa ao digitalizar diferentes extensões. Três modelos de gesso representando diferentes extensões (arcada completa, meio arco e três dentes) foram obtidos a partir de impressões convencionais de silicone de um typodont superior e utilizados como objetos de escaneamento. Um scanner industrial (ATOS III Triple Scan) foi utilizado para escanear os três modelos de gesso para obtenção de modelos digitais de referência. Os modelos de gesso foram então digitalizados utilizando dois scanners intraorais (Trios 3 e Primescan) e dois scanners de mesa (LS3 e D2000) para obtenção dos modelos digitais de teste. Os modelos de referência e de teste foram importados para um software profissional de

engenharia reversa para processamento e análise. O valor da raiz quadrada média indicou diferenças entre os modelos de referência e de teste. Pode-se concluir que a extensão do escaneamento afetou a precisão do scanner intraoral, mas não necessariamente a precisão do scanner de mesa.

Em 2017, uma revisão sistemática foi a primeira a examinar a literatura científica em busca de evidências que descrevessem o uso de fluxos de trabalho digitais completos em próteses fixas para tratamento com restaurações fixas suportadas por dentes ou implantossuportadas. Esta revisão concluiu que o nível de evidência para fluxos de trabalho digitais completos era baixo. Anos depois, revisão sistemática de Bernauer e Zitzmann (2023) teve como objetivo atualizar essa revisão originalmente publicada em 2017, apresentando dados mais atuais que descreveram os mais recentes desenvolvimentos em prótese fixa digitalmente aprimorada e deduzir recomendações clínicas. Foram analisados 440 pacientes com 658 restaurações. Quase dois terços dos estudos focaram na terapia com implantes. As evidências clínicas atuais apoiam o uso de fluxos de trabalho digitais completos na terapia de implantes com coroas monolíticas em locais posteriores. As coroas suportadas por implantes fabricadas digitalmente podem ser consideradas pelo menos comparáveis aos fluxos de trabalho convencionais e híbridos em termos de eficiência de tempo, custos de produção, precisão e satisfação do paciente.

O objetivo do estudo de Kanjanasavitree et al. (2023) foi comparar os efeitos de quatro tipos de pontos de referência artificiais e três padrões de digitalização diferentes na precisão de escaneamentos intraorais de implantes de arco completo. Um modelo mandibular edêntulo com 4 implantes dentários (Osstem) foi preparado como modelo mestre de referência (MRM) e digitalizado com scanner de laboratório (E4 Lab Scanner®). Em seguida, o modelo foi modificado com quatro pontos de referência artificiais: (I) CON - MRM não modificado, (II) PIP - pasta indicadora de pressão aplicada sobre o rebordo edêntulo, (III) LD - marcadores de barragem líquida colocados na crista edêntula, e (IV) FL - fio dental amarrado com resina padrão entre os corpos de escaneamento. Em cada grupo, o modelo modificado foi escaneado com três padrões de digitalização diferentes: (I) LB- - padrão lingual-bucal, (II) SS - padrão em formato de S e (III) QU - padrão de quadrante ($n = 10/\text{subgrupo}$) usando um scanner intraoral (Trios®4). As digitalizações em formato STL foram exportadas e sobrepostas ao arquivo MRM utilizando um software de inspeção (Geomagic Control X). A exatidão (veracidade e precisão) foi avaliada pelo cálculo do desvio, raiz quadrada média (RMS). Foi concluído que os marcos artificiais e os padrões de escaneamento tiveram um efeito significativo na precisão dos escaneamentos digitais intraorais dos implantes de arco completo.

Em outro estudo de Revilla-León et al (2023) o objetivo foi medir o efeito de diferentes procedimentos de acabamento do preparo dentário (grão supergrosso, grão fino e abrasão por partículas de ar) e selamento imediato de dentina (IDS) na precisão do escaneamento de 4 IOS. Um preparo dentário para uma restauração com redução oclusal foi realizada em um molar inferior extraído usando pontas diamantadas supergrossas. Quatro grupos foram criados dependendo do procedimento de acabamento do preparo do dente: grão supergrosso (broca com granulometria de $150\ \mu\text{m}$) (grupo SCG), grão fino (broca com granulometria de $30\ \mu\text{m}$) (FG), abrasão à ar com partículas de óxido de alumínio de $27\ \mu\text{m}$ (grupo APA) e IDS (grupo IDS). Cada grupo foi dividido em 5 subgrupos de acordo com o sistema de digitalização utilizado para digitalizar o preparo dentário: scanner de laboratório (subgrupo controle) (T710; Medit), Trios 4 (subgrupo Trios), CS 3800 (subgrupo CS), i700 wireless (subgrupo i700) e iTero Element 5D Plus (subgrupo iTero) ($n=20$). Para cada subgrupo, o arquivo de controle foi alinhado com cada varredura experimental usando o algoritmo de melhor ajuste e um programa de engenharia (Geomagic Control X). A discrepância entre os arquivos de controle e experimentais de cada subgrupo foi calculada medindo-se o erro quadrático médio (RMS). Chegaram a conclusão que os diferentes procedimentos de acabamento dos preparos dentários testados influenciaram na precisão do escaneamento dos 4 IOS considerados. O procedimento de abrasão por partículas de ar obteve os melhores valores de precisão. As discrepâncias de veracidade medidas entre todos os subgrupos foram de $19\ \mu\text{m}$ e as discrepâncias de precisão medidas entre todos os subgrupos foram de $4,69\ \mu\text{m}$.

A introdução dos IOS em consultórios odontológicos foi um marco importante para as inovações digitais em odontologia. Conhecer a curva de aprendizado do escaneamento intraoral é crucial, pois pode servir como orientação para os dentistas antes de comprar um novo IOS. O objetivo do presente estudo in vivo realizado por Róth et al (2023) foi determinar a curva de aprendizado exigida pelos estudantes de odontologia para escaneamento intraoral com o 3Shape Trios 4 IOS e o CEREC Primescan (CER), com base no tempo de escaneamento. Participaram do presente estudo 20 estudantes de odontologia sem experiência prévia em escaneamento intraoral. Dez alunos digitalizaram com Trios 4® IOS (TRI) e dez alunos fizeram moldagens digitais com Primescan. Cada aluno criou 15 impressões digitais de pacientes. Antes da coleta das impressões, foi ministrada formação teórica e prática. O tempo total de digitalização incluiu as arcadas superior e inferior, bem como o registro da mordida, para os quais foram calculados valores médios. Encontraram diferenças entre a curva de aprendizado dos tipos de scanners. No caso do TRI, menos impressões digitais (11 repetições) foram suficientes para atingir o tempo médio de digitalização de um usuário experiente do que usando o CER (14 repetições).

Giuliodori et al. (2023) realizaram um estudo in vitro com objetivo de avaliar a precisão de diferentes IOS, de acordo com diferentes estratégias de digitalização e com a experiência do operador. Seis configurações de IOS foram utilizadas neste estudo. Dez escaneamentos de uma arcada dentária maxilar completam confeccionadas com resina epóxi para cada IOS, utilizando quatro técnicas de escaneamento diferentes (estratégia de escaneamento sugerida pelo fabricante, técnica de reescaneamento cut-out, técnica de escaneamento simplificada, nova técnica de escaneamento). Os exames foram realizados por um operador especialista na área de odontologia digital e um operador sem experiência que seguiu cada uma das estratégias de escaneamento sugeridas pelo fabricante. Todos os modelos digitais foram alinhados ao modelo de referência por meio de um software destinado à comparação dos arquivos STL. Um total de 300 digitalizações foram realizadas. Uma vez agrupados os dados, o Medit i700 e o Primescan obtiveram os melhores resultados em termos de veracidade e precisão, não apresentando diferenças estatisticamente significativas para a primeira e a segunda técnica de digitalização, o scanner Medit i700 permitiu obter os melhores valores tanto em termos de veracidade quanto de precisão em comparação com outros IOS. Ao considerar a terceira técnica de digitalização, o Medit i700 registrou os melhores valores em termos de veracidade, enquanto o Primescan registrou os melhores valores em termos de precisão. Ao considerar os dois operadores, diferenças significativas entre eles foram encontradas, mas apenas com o Medit i700. Os IOS examinados apresentaram diferenças estatisticamente significativas em termos de veracidade e precisão. A estratégia de digitalização utilizada é um fator que influencia a precisão do IOS. Considerando a experiência dos operadores, as estratégias não são sensíveis à operação em termos de precisão.

A experiência do operador e o tipo de IOS podem influenciar no tempo necessário e a precisão obtida do escaneamento intraoral. Tendo isso em vista, Thomas & Jain (2023) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a influência da experiência do operador no tempo de escaneamento e correlacionar a precisão dos escaneamentos com dois scanners intraorais. Neste estudo, foram incluídos um total de 20 indivíduos que necessitaram de escaneamento intraoral para tratamento ortodôntico. O escaneamento intraoral foi feito com dois scanners diferentes, TRIOS 3 e i500. Um operador com alto (grupo 1), médio (grupo 2) e baixo (grupo 3) níveis de experiência realizou o escaneamento intraoral com dois IOS diferentes. Foi verificado que operadores menos experientes demoraram mais tempo para escanear um sujeito. A precisão da digitalização entre três grupos utilizando dois scanners não foi influenciada pela experiência do operador. A digitalização com o i500 IOS demorou mais tempo do que com o TRIOS.

A revisão sustentada por Ma et al. (2024) teve como propósito avaliar a influência da luz ambiente na precisão e no tempo de digitalização do escaneamento intraoral. Foram realizados seis experimentos in vitro e dois in vivo. Três estudos in vitro relataram a precisão e o tempo de digitalização dos exames intraorais, enquanto os estudos restantes avaliaram exclusivamente a precisão. Os estudos investigaram principalmente a influência dos níveis de iluminação (0–11.000 lux) na digitalização intraoral. As digitalizações intraorais revelaram precisão ideal com iluminação de 1000 lux para digitalizações de

dentição de arcada completa, enquanto a influência dos níveis de iluminação em digitalizações de 4 unidades ou menos não foi clinicamente significativa. Os exames intraorais obtidos pela microscopia confocal foram menos afetados pelos níveis de iluminação do que aqueles obtidos pela técnica de triangulação ativa. Além disso, o tempo de digitalização tendeu a aumentar com o aumento da iluminação. Evidentemente, a partir do número limitado de estudos realizados, a iluminação da luz ambiente teve uma influência considerável na precisão e no tempo de digitalização do escaneamento intraoral, o que parece estar relacionado ao alcance do escaneamento e à tecnologia de imagem.

Os IOS são amplamente utilizados como uma alternativa às moldagens convencionais, mas faltam estudos sobre a influência da localização do término do preparo e da contaminação pela saliva na veracidade do escaneamento. Portanto, An et al. (2024) realizaram um estudo in vitro para avaliar a influência da localização do término do preparo e da contaminação pela saliva na veracidade do escaneamento. Três dentes foram preparados para coroas de cerâmica pura com linhas de término confeccionadas, equigengivalmente, 0,5 mm subgengival e 1,0 mm subgengival. Uma técnica de fio único foi usada para retração gengival, e um total de 180 exames intraorais foram feitos usando dois IOS (Emerald; Planmeca e Trios 3; 3Shape). Os dentes preparados foram separados do dentoforme e escaneados usando os mesmos IOS para criar escaneamentos de referência. Todos os escaneamentos foram importados para o software de design (Dental System). Após a marcação das linhas de término dos dentes preparados, os escaneamentos intraorais foram alinhados aos escaneamentos de referência para comparações. Discrepâncias marginais verticais e horizontais foram medidas em quatro pontos de medição diferentes (bucal, lingual, mesial e distal) e analisadas. Foi constatado que as linhas de término subgengivais não foram capturadas com precisão utilizando os IOS. A presença de saliva reduziu significativamente a veracidade do escaneamento, o que foi amplificado quando as linhas de término foram localizadas subgengivalmente.

4. Discussão

A análise da literatura revela uma gama de opiniões sobre a precisão e a eficiência dos scanners intraorais em comparação com métodos convencionais de moldagem dentária. Esta discussão buscará contrapor os achados dos diferentes estudos, destacando tanto os pontos de convergência quanto as divergências significativas entre os autores revisados.

Precisão dos Scanners Intraorais

A análise sobre precisão destaca variações significativas nos métodos e nos resultados. Renne et al. (2017) identificaram que o Planscan era o mais preciso para sextantes, enquanto o 3Shape Trios se sobressaía em arcos completos, evidenciando um equilíbrio entre velocidade e precisão. Já Giachetti et al. (2020) concluíram que as moldagens tradicionais são mais precisas do que as digitais em determinadas situações clínicas, mas defendem mais investigações.

Por outro lado, Bernauer e Zitzmann (2023) relatam que, para aplicações específicas como coroas implantossuportadas, os IOS são comparáveis às moldagens convencionais em termos de precisão e eficiência. Essa divergência pode estar relacionada às diferenças de aplicação clínica e metodologias, como a avaliação isolada de sextantes por Renne et al. versus próteses fixas em Bernauer e Zitzmann.

Impacto das Condições de Iluminação

Revilla-León et al. (2020) e Arakida et al. (2018) discutem a influência das condições de iluminação na precisão dos IOS. Revilla-León et al. (2020) concluíram que a condição de luz ambiente de 1003 lux apresentou a menor discrepância nas digitalizações, enquanto Arakida et al. (2018) identificaram a iluminação de 3900K e 500 lux como a mais adequada para digitalizações precisas. Ambos os estudos concordam que a iluminação afeta significativamente a precisão, mas diferem nas recomendações específicas para a melhor configuração de luz.

Influência da Experiência do Operador

Resende et al. (2021) e Kim et al. (2016) destacam que a experiência do operador é um fator determinante na qualidade dos escaneamentos intraorais. Resende et al. (2021) observaram que operadores experientes obtêm melhores resultados, enquanto Kim et al. (2016) enfatizam a necessidade de treinamento extensivo para alcançar a proficiência com novos sistemas IOS. Ambos os estudos concordam que a curva de aprendizado é uma barreira, mas essencial para otimizar a utilização dos scanners intraorais.

Saliva x Fatores

Chen et al. (2022) avaliaram a influência do líquido aderido às superfícies dentárias em relação a veracidade e precisão dos scanners e a eficácia do método de secagem. Foram analisadas as condições seco, molhado e seco com jato de ar e concluíram que o líquido na superfície do dente pode afetar a precisão do escaneamento intraoral, mas com a secagem com a seringa triplice os erros de digitalização podem ser reduzidos. O estudo realizado por An et al. (2024) identificou que as linhas de acabamento subgengivais não foram capturados com precisão usando os IOS, porque a presença de saliva reduziu significativamente a veracidade do escaneamento. Os IOS são amplamente utilizados como uma alternativa às moldagens convencionais, mas ainda são poucos os estudos que abordam sobre a influência da contaminação pela saliva na veracidade do escaneamento.

Comparação com Métodos Convencionais

Giachetti et al. (2020) e Kihara et al. (2019) analisam a precisão das impressões digitais versus convencionais. Giachetti et al. (2020) concluíram que as moldagens convencionais com materiais de alta precisão são mais precisas do que as digitais, mas recomendam mais estudos para avaliar a precisão em diferentes situações clínicas. Kihara et al. (2019), por outro lado, sugerem que os scanners intraorais são mais confortáveis para os pacientes e que a precisão tende a melhorar com o desenvolvimento contínuo da tecnologia. Essas perspectivas mostram uma divisão na literatura sobre a superioridade dos métodos digitais em comparação aos convencionais.

Eficiência e Satisfação do Paciente

Blatz e Conejo (2019) e Akyalcin et al. (2013) discutem os benefícios dos fluxos de trabalho digitais em termos de eficiência e satisfação do paciente. Blatz e Conejo (2019) ressaltam que a integração de CAD/CAM na odontologia digital resultou em ganhos significativos de eficiência e precisão na fabricação de restaurações, promovendo maior satisfação do paciente. Akyalcin et al. (2013), entretanto, alertam para os desafios associados ao alto custo de investimento em equipamentos e à necessidade de habilidades técnicas, o que pode limitar a adoção ampla desses sistemas. Esses pontos de vista destacam tanto os benefícios quanto as limitações práticas da digitalização intraoral.

5. Conclusão

Com base na revisão de literatura narrativa, conclui-se que o escaneamento intraoral oferece avanços significativos em termos de precisão, eficiência e conforto em comparação com as moldagens tradicionais, sendo influenciado pela experiência do operador, o tipo de scanner, o tempo e tamanho da digitalização e até mesmo condições ambientais, como a iluminação. A contínua evolução das tecnologias CAD/CAM mostram grande potencial para substituição de materiais de moldagem tradicionais, exigindo, no entanto, uma abordagem cautelosa e baseada em evidências científicas. Assim, a combinação de treinamento adequado, seleção criteriosa de equipamentos e aplicação de boas práticas é essencial para otimizar os resultados clínicos na odontologia digital.

Referências

- Abduo, J. & Elseyoufi, M. (2018). Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Prosthodont Restor Dent*, 26(3), 101-121.
- Akyalcin, S., Cozad, B.E., English, J. D., Colville, C. D. & Laman, S. (2013). Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.*, 144(6), 916-22.
- An, H., Mickesh G. J., Cho, D., Sorensen, J. A. (2024). Effect of finish line location and saliva contamination on the accuracy of crown finish line scanning. *J Prosthodont.*, 33(1), 86-94.
- Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, Suzuki T, Minakuchi S. (2018). Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intraoral scanner. *J Prosthodont Res.* 62(3), 324-329.
- Beuer, F., Schweiger, J. & Edelhoff, D. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.*, 204(9), 505-11.
- Bernauer, S. A., Zitzmann, N. U. & Joda, T. (2023). The Complete Digital Workflow in Fixed Prosthodontics Updated: A Systematic Review. *Healthcare*, 11(5), 679.
- Blatz, M.B. & Conejo, J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin North Am.*, 63(2), 175-197.
- Camci H. & Salmanpour F. (2020). Effect of saliva isolation and intraoral light levels on performance of intraoral scanners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*, 158(5), 759-766.
- Chen, Y., Zhai, Z., Li, H., Yamada, S., Matsuoka, T., Ono, S. & Nakano, T. (2022). Influence of Liquid on the Tooth Surface on the Accuracy of Intraoral Scanners: An In Vitro Study. *J Prosthodont*, 31(1), 59-64.
- Chen, Y., Zhai, Z., Watanabe, S., Nakano, T. & Ishigaki, S. (2022). Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners. *J Dent*, 124, 104220.
- Giachetti, L., Sarti, C., Cinelli, F. & Russo, D. S. (2020). Accuracy of Digital Impressions in Fixed Prosthodontics: A Systematic Review of Clinical Studies. *Int J Prosthodont*, 33(2), 192-201.
- Giuliodori, G., Rappelli, G. & Aquilanti, L. (2023). Intraoral Scans of Full Dental Arches: An In Vitro Measurement Study of the Accuracy of Different Intraoral Scanners. *Int J Environ Res Public Health*, 20(6), 4776.
- Honório, H. M. & Santiago Júnior, J. F. (2021). *Fundamentos das Revisões Sistemáticas em Saúde*. Santos Publicações.
- Kanjanasavitree, P., Thammajarak, P. & Guazzato, M. (2023). Comparison of different artificial landmarks and scanning patterns on the complete-arch implant intraoral digital scans. *J Dent*, 125, 104266.
- Kihara, H., Hatakeyama, W., Komine, F., Takafuji, K., Takahashi, T., Yokota, J., Oriso, K. & Kondo, H. (2019). Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res.*, 64(2), 109-113.
- Kim, J., Park, J. M., Kim, M., Heo, S. J., Shin, I. H. & Kim, M. (2016). Comparison of experience curves between two 3-dimensional intraoral scanners. *J. Prosthet. Dent*, 116(2), 221-30.
- Koseoglu, M., Kahramanoglu, E. & Akin, H. (2021). Evaluating the Effect of Ambient and Scanning Lights on the Trueness of the Intraoral Scanner. *J Prosthodont*, (9), 811-816.
- Latham, J., Ludlow, M., Mennito, A., Kelly, A., Evans, Z. & Renne, W. (2020). Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. *J Prosthet Dent*, 123(1), 85-95.
- Ma, Y., Guo, Y. Q., Saleh, M. Q. & Yu, H. (2024). Influence of ambient light conditions on intraoral scanning: A systematic review. *J Prosthodont Res.*, 68(2), 237-245.
- Mennito, A. S., Evans, Z. P., Lauer, A. W., Patel, R. B., Ludlow, M. E. & Renne, W. G. (2018). Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *J Esthet Restor Dent.*, 30(2), 113-118.
- Ochoa-López G, Cascos R, Antonaya-Martín J L, Revilla-León M, Gómez-Polo M. (2022). Influence of ambient light conditions on the accuracy and scanning time of seven intraoral scanners in complete-arch implant scans. *J Dent*. 121, 104138.
- Rasaie, V., Abduo, J. & Hashemi, S. (2021). Accuracy of Intraoral Scanners for Recording the Denture Bearing Areas: A Systematic Review. *J Prosthodont*, 30(6), 520-539.
- Rekow, E. D. (2020). Digital dentistry: The new state of the art — Is it disruptive or destructive? *Dent Mater*, 36, 9-24.
- Renne, W., Ludlow, M., Fryml, J., Schurch, Z., Mennito, A., Kessler, R. & Lauer, A. (2017). Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent.*, 118(1), 36-42.
- Resende, C. C. D., Barbosa, T. A. Q., Moura, G. F., Tavares, L. D. N., Rizzante, F. A. P., George, F. M., Neves, F. D. D. & Mendonça, G. (2021). Influence of operator experience, scanner type, and scan size on 3D scans. *J Prosthet Dent.*, 125(2), 294-299.
- Revilla-León, M., Jiang, P., Sadeghpour, M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A., Özcan, M. & Krishnamurthy, V. R. (2020). Intraoral digital scans-Part 1: Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *J Prosthet Dent.*, 124(3), 372-378.

Revilla-León, M., Subramanian, S. G., Özcan, M. & Krishnamurthy, V. R. (2020). Clinical Study of the Influence of Ambient Light Scanning Conditions on the Accuracy (Trueness and Precision) of an Intraoral Scanner. *J Prosthodont*, 29(2), 107-113.

Revilla-León, M., Cascos-Sánchez, R., Barmak, A. B., Kois, J. C. & Gómez-Polo, M. (2023). The effect of different tooth preparation finishing procedures and immediate dentin sealing on the scanning accuracy of different intraoral scanners. *J Dent.*, 130, 104431.

Róth, I., Hermann, P., Vitai, V., Joós-Kovács, G. L., Géczi, Z. & Borbély, J. (2023). Comparison of the learning curve of intraoral scanning with two different intraoral scanners based on scanning time. *BMC Oral Health*, 23(1), 267.

Thomas, A. A. & Jain, R. K. (2023). Influence of Operator Experience on Scanning Time and Accuracy with Two Different Intraoral Scanners - A Prospective Clinical Trial. *Turk J Orthod.*, 36(1), 10-14.