

AVALIAÇÃO MARGINAL E INTERNA DE COROAS PROVISÓRIAS SOBRE IMPLANTE FABRICADAS DE FORMA USINADA COM SISTEMA CAD/CAM OU UTILIZANDO IMPRESSORA 3D

MARGINAL AND INTERNAL FIT OF CAD/CAM-MILLED AND 3D-PRINTED
IMPLANT-SUPPORTED PROVISIONAL CROWNS: A MICRO-CT STUDY

Ciências da Saúde • 03/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/780443012](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/780443012)

Jussania Fonseca da Paz¹

Cecilia Pedroso Turssi²

Leonardo Fernandes da Cunha³

RESUMO

Objetivo: este estudo avaliou a adaptação interna e marginal de coroas provisórias implantossuportadas fabricadas utilizando diferentes fresadoras e impressoras 3D. Métodos: coroas provisórias foram projetadas para um implante com encaixe Morse e abutment universal sólido, de 3,3 mm de diâmetro e 6 mm de altura (Neodent), com base em um modelo digital de um segundo pré-molar superior obtido no software 3shape. O arquivo STL salvo foi utilizado para fresagem CAD/CAM e impressão 3D para fabricar 10 coroas provisórias por grupo. As coroas foram fresadas em dois grupos (ZirkonzahnM4 e ZirkonzahnM5) e impressas em 3D em outros dois grupos (Flash Forge Hunter e KLD). A adaptação marginal e interna foi avaliada por meio de microtomografia computadorizada (micro-CT, Skyscanner). Após a digitalização por micro-CT, cortes transversais foram obtidos para medição. Quatro pontos de referência por seção foram identificados para a medição do desajuste marginal: um ao longo da parede axial, um no ângulo axio-oclusal e um na superfície oclusal. Os dados foram analisados utilizando análise de variância de medidas repetidas de dois fatores e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Resultados: o desajuste foi significativamente influenciado pelo método utilizado para fabricar a coroa provisória, dependendo do local avaliado ($p < 0,001$). Não foi observada diferença significativa no ajuste marginal e axial entre os métodos de fresagem CAD/CAM e impressão 3D. O desajuste foi significativamente maior na superfície oclusal, seguido pela região axio-oclusal. As coroas fabricadas utilizando a impressora KLD apresentaram maiores discrepâncias. Conclusões: o ajuste marginal e interno de coroas provisórias sobre implantes fresadas por CAD/CAM e impressas em 3D é influenciado pelo método de fabricação. Além disso, o desajuste variou entre os diferentes pontos de avaliação.

Palavras-chave: biomecânica; suportadas por implantes; Implantes dentários; próteses dentárias fixas.

ABSTRACT

Purpose: this study assessed the internal and marginal fit of implant-supported provisional crowns fabricated using different milling machines and 3D printers. Methods: provisional crowns were designed for a Morse taper implant with a universal solid abutment, 3.3 mm in diameter and 6 mm in height (Neodent), based on a digital model of a maxillary second premolar obtained from the 3shape design software. The saved STL file was used for CAD/CAM milling and 3D printing to fabricate 10 provisional crowns per group. The crowns were milled in two groups (ZirkonzahnM4 and ZirkonzahnM5) and 3D-printed in other two groups (Flash Forge Hunter and KLD). Marginal and internal misfit was assessed using micro-computed tomography (micro-CT, Skyscanner). After micro-CT scanning, cross-sectional slices were obtained for measurement. Four reference points per section were identified for marginal misfit measurement: one along the axial wall, one at the axio/occlusal angle, and one on the occlusal surface. The data were analyzed using two-way repeated-measures analysis of variance and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). Results: misfit was significantly influenced by the method used to fabricate the provisional crown, depending on the site assessed ($p < 0.001$). No significant difference in marginal and axial fit was observed between the CAD/CAM milling and 3D printing methods. Misfit was significantly higher on the occlusal surface, followed by the axial/occlusal region. Crowns fabricated using the KLD printer exhibited larger discrepancies. Conclusions: the marginal and internal fit of CAD/CAM-milled and 3D-printed provisional implant crowns is influenced by the fabrication method. Additionally, misfit varied across different assessment points.

Keywords: prostheses; biomechanics; dental implants; implant-supported fixed dental.

1. INTRODUÇÃO

A restauração provisória é uma parte importante do tratamento da prótese sobre implante, que é fundamental em várias etapas do procedimento reabilitador, incluindo desde a formação do perfil de emergência até a verificação da função (Lee et al., 2017; Regish et al., 2011). Uma técnica de obtenção de próteses provisórias a serem instaladas sobre implante é aquela que utiliza o sistema CAD/CAM. Por meio dele tem-se próteses de alta qualidade e adaptação (Lee et al., 2017; Regish et al., 2011).

A coroa provisória pelo método de produção que usa o sistema CAD/CAM pode ser dividida em fabricação regressiva, por usinagem, ou manufatura aditiva, pela impressão. Pela usinagem, obtém-se a forma projetada pela retificação dos materiais apresentados em blocos ou discos. Como o bloco de resina possui alto grau de conversão, a resistência e a exatidão da coroa provisória usinada são melhores em comparação à técnica direta convencional (Shamseddine et al., 2016). No entanto, a usinagem resulta em desperdício de materiais e tem a desvantagem de proporcionar limitada reprodutibilidade em região côncava, dependendo do diâmetro do dispositivo de corte (An et al., 2014).

Pela manufatura aditiva, a coroa é fabricada sobrepondo-se consecutivamente camadas de material resinoso (Borba et al., 2013; Contrepolis et al., 2013). As tecnologias de impressão tridimensional oferecem alta resolução, baixa contração e permitem a fabricação de objetos com uma superfície lisa. Cada camada é então polimerizada

e combinada com a camada anterior pela aplicação de uma luz de polimerização ultravioleta (Alharbi et al., 2016; Nawefleh et al., 2013). Como tal, há um aumento constante da produção de próteses usando o sistema de impressão 3D. Portanto, requer-se mais pesquisa e avaliação da prótese fabricada pelo método de impressão 3D.

No entanto, os estudos sobre a adaptação com o método de fresagem CAD/CAM até o momento atual são os principais estudos, e não há estudos suficientes de ajuste interno sobre a tecnologia de impressão 3D e seus diferentes sistemas. Sendo essa informação fundamental, especialmente porque existe um número muito grande de fresadoras, impressoras e materiais disponíveis que podem influenciar os resultados finais para o clínico e paciente.

Diferentes métodos clínicos e laboratoriais têm sido usados para avaliação da adaptação marginal e interna de restaurações indiretas. Clinicamente, a adaptação marginal pode ser estimada de maneira direta utilizando-se um espelho e uma sonda como preconizado no método USPHS. De maneira indireta, também é possível a avaliação da desadaptação marginal por meio de réplicas em resina epóxi, que podem ser analisadas em microscopia de luz e eletrônica de varredura (Cunali et al., 2017; Felton et al., 1991). Um método que utiliza microtomografia computadorizada (micro-CT ou μ -CT) tem sido utilizado para adaptação marginal e interna de restaurações indiretas (Stansbury; Idacavage, 2016; Torabi et al., 2015). Esta técnica permite a investigação em duas ou três dimensões da adaptação marginal e interna de restaurações indiretas em diversos cortes e direções, permitindo um grande número de locais de medição e fácil reconhecimento de distâncias críticas. Além disso, trata-se de um método que não destrói os espécimes, reproduzível na literatura

e fiel (An et al., 2014; Nawefleh et al., 2013; Shamseddine et al., 2016; Stansbury; Idacavage, 2016; Torabi et al., 2015).

Diante dos aspectos apontados, é de interesse avaliar, neste estudo, o ajuste interno e marginal de coroas fabricadas com a tecnologia de fresagem CAD/CAM e a tecnologia de impressão 3D. A hipótese nula foi de que não haveria diferença no ajuste da coroa provisória fabricada para cada sistema (fresagem ou impressão).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Grajower e Zuberi (1989) estudaram a espessura das camadas de espaçadores no assentamento de coroas. Molares extraídos foram preparados e as matrizes artificiais foram confeccionadas em impressões de poliéteres e cobertas com uma a cinco camadas de material espaçador. Padrões de cera foram investidos para obter uma expansão uniforme e baixa. As coroas eram moldadas e imersas em resina acrílica. Então, determinou-se a espessura média das camadas de material espaçador. Um aumento adicional na espessura do espaçador não afetou a adaptação, mas aumentou a espessura do cimento nas paredes axiais. A espessura ideal do espaçador resulta em adaptação na margem, juntamente com uma baixa espessura de cimento nas paredes axiais.

Felton et al. (1991) sugeriram uma relação entre a adaptação marginal das peças dentárias e a saúde do tecido periodontal, e examinaram essa relação quantitativamente. Quarenta e duas restaurações de coroas totais em 29 pacientes selecionados aleatoriamente foram triados para este estudo usando três critérios: (1) As coroas foram instaladas na Faculdade de Odontologia da Universidade da Carolina do Norte; (2) as coroas estavam em serviço

por um período mínimo de 4 anos; e (3) as margens da coroa estavam dentro do sulco gengival (subgengival). As impressões de réplicas das margens de coroas totais foram feitas com um material tipo silicone de adição e os moldes vertidos foram preparados para a avaliação em microscopia eletrônica de varredura. As medidas de discrepância marginal foram identificadas em cada micrografia em 10 locais igualmente espaçados ao longo da margem e calculados para cada amostra. Índices periodontais de profundidade de bolsa, volume de fluido crevicular e índice gengival foram avaliados para medidas clínicas. Nenhuma correlação significativa foi encontrada entre a discrepância marginal e a profundidade da bolsa. No entanto, uma forte correlação existiu entre discrepância marginal e índice gengival e entre discrepâncias marginais e volume de líquido crevicular. Estes resultados estabeleceram que existe uma relação quantitativa significativa entre a discrepância marginal e a inflamação do tecido periodontal quando margens de coroas se localizam subgengivalmente.

Regish et al. (2011) afirmaram que uma restauração provisória adequadamente confeccionada é importante para alcançar uma restauração indireta bem-sucedida. A importância das restaurações provisórias como parte integrante do tratamento protético reabilitador é evidente a partir da abundância da literatura referente à sua importância no que diz respeito à fidelidade das margens, função na mastigação e fonética, oclusão sem contatos prematuros ou interferências e estética.

Sun e Zhang (2012) afirmaram que os cirurgiões-dentistas têm usado técnicas de prototipagem rápida (RP) nas áreas de simulação e implantologia de cirurgia oral maxilofacial. Com novas pesquisas surgindo para materiais de moldagem e o processo de formação de

técnicas de RP, este método está se tornando mais atraente na fabricação de prótese dentária; entretanto, poucos pesquisadores publicaram material sobre a tecnologia RP de fabricação de próteses. Este artigo revisou e discutiu a aplicação de técnicas de RP para prótese dentária, incluindo: fabricação de padrão de cera para a prótese dentária, fabricação de molde, fabricação de prótese com infraestruturas metálicas e fabricação de próteses de zircônia. Os autores afirmam que muitas pessoas poderiam se beneficiar desta nova tecnologia através de várias formas de produção de prótese dentária.

Borba et al. (2013) mediram o ajuste marginal e interno de próteses parciais fixas de três unidades de cerâmica pura em zircônia (Y-TZP - LAVA, 3M-ESPE), usando microtomografia computadorizada (micro-CT). Modelos de aço inoxidável de pilares foram fabricados para projetar FPDs. Dez estruturas foram produzidas com seções transversais do conector de 9 mm² usando um sistema LAVA™ CAD-CAM. Todas as FPDs foram recobertas com uma cerâmica compatível. Cada FPD estava sobre o modelo original e digitalizado usando micro-CT. Os arquivos foram processados usando o software NRecon e CTAn. O software Adobe Photoshop e Image J foram usados para analisar as imagens da seção transversal. Cinco pontos de medição foram selecionados, como segue: MG - fenda marginal; CA - área de chanfro; AW - parede axial; AOT - área de transição axio-oclusal; OA - área oclusal. Houve diferenças significativas para a largura da fenda entre os pontos de medição avaliados. MG mostrou a menor largura mediana da fenda (42 µm). A OA apresentou a maior dimensão da fenda (125 µm), seguido pelo ponto AOT (105 µm). Os valores da largura da fenda CA e AW, de 66 e 65 µm, respectivamente, não tiveram diferença significativa. Assim, foi possível concluir que diferentes níveis de adaptação foram

observados nos diferentes pontos de medição. Além disso, a tecnologia de micro-CT pareceu ser uma ferramenta confiável para avaliar o ajuste das restaurações dentárias.

Contrepolis et al. (2013) fizeram uma revisão sistemática da literatura dedicada à precisão marginal dos sistemas cerâmicos. Este estudo revisou a literatura científica que diz respeito ao ajuste marginal de coroas cerâmicas fabricadas com diferentes sistemas e investigou os fatores que influenciam a adaptação marginal. Dos 469 estudos identificados, 54 satisfizeram os critérios de seleção e foram incluídos na revisão. Um total de 17 sistemas cerâmicos foram testados em 48 estudos in vitro e 6 in vivo. De todas as fendas marginais medidas, 94,9% estavam na faixa de aceitabilidade clínica. A heterogeneidade do estudo tornou impossível conduzir uma meta-análise adequada e comparar e classificar os vários sistemas em termos de ajuste marginal. Foi identificado que quatro parâmetros influenciam a adaptação marginal: configuração da linha de término, espaço de cimentação, processo de revestimento e cimentação. Os sistemas avaliados geralmente fornecem um ajuste marginal clinicamente aceitável. O estado atual da pesquisa não permite uma comparação adequada dos vários sistemas em termos de ajuste marginal. O uso de microtomografia é recomendado para pesquisas adicionais sobre adaptação marginal.

Nawafleh et al. (2013) revisaram os métodos utilizados para investigar a adaptação marginal de coroas e próteses dentárias fixas (PDFs) e discutir as variáveis de testes empregados e sua influência nos resultados. Um total de 277 artigos foram identificados, dos quais 183 preencheram os critérios de inclusão. A técnica de visão direta foi utilizada por 47,5% dos artigos, seguida das técnicas de cortes radiográficos (23,5%) e avaliação de réplica após moldagem (20,2%).

Os valores de fenda marginal relatados por essas técnicas variaram devido a variações no tipo de estudo (in vivo vs. in vitro), tamanho da amostra e medidas por espécime, tipo de término cervical e estágio no qual a fenda marginal foi medida. Houve uma falta substancial de consenso em relação à adaptação marginal de vários sistemas de coroa devido a diferenças nos métodos de avaliação e protocolos experimentais empregados. Além disso, a realização de um teste experimental de um mínimo de 30 amostras em 50 medições por amostra deve produzir resultados confiáveis. Além disso, usar uma combinação de dois métodos de medição pode ser útil na verificação dos resultados.

An et al. (2014) compararam o ajuste marginal de copings de zircônia projetados com o uso de um scanner digital iTero com aqueles projetados pela técnica de impressão convencional. Foram fabricados trinta moldes, de um dente preparado de metal que serviu de base, fundidos idênticos de um incisivo central superior preparados para uma restauração de coroa de cerâmica. Para o grupo de moldagem convencional (CI), os moldes (n = 10) foram replicados por meio de técnica convencional de moldagem com silicone de adição. Para o iTero com grupo de poliuretano (iP), o dente preparado de base (n = 10) foi replicado como matriz de poliuretano com o sistema de escaneamento digital iTero. Para o iTero sem o grupo de moldes (iNo), os moldes de metal base (n = 10) foram escaneados com o sistema de impressão digital iTero, mas não foram fabricados moldes. Para cada grupo, 10 copings de zircônia foram fabricados com base nos dados (grupo CI), poliuretano (grupo iP) ou arquivos de estereolitografia. A fenda marginal de cada espécime foi medida com um microscópio de luz com uma ampliação de $\times 50$. Diferenças substituíveis significativas foram encontradas entre o grupo CI e o grupo iP ($P < 0,05$) e entre o

grupo CI e o grupo iNo. A fenda marginal foi maior nos grupos que utilizaram o método de impressão digital do que no grupo que utilizou o método de impressão convencional. No entanto, as discrepâncias marginais de todos os grupos foram clinicamente aceitáveis.

Torabi et al. (2015) fizeram uma revisão de literatura sobre tecnologias de prototipagem rápida e suas aplicações em prótese dentária. Os primeiros sistemas de desenho assistido por computador / manufatura auxiliada por computador (CAD / CAM) eram exclusivamente de métodos subtrativos. Nos últimos anos, métodos aditivos empregando a prototipagem rápida (PR) têm progredido rapidamente em vários campos da Odontologia, pois têm o potencial de superar as desvantagens conhecidas das técnicas subtrativas, como problemas de adaptação. Técnicas de RP foram exploradas para construir modelos 3D complexos em Medicina desde a década de 1990. Recentemente, a RP propôs aplicações bem-sucedidas em diversos campos odontológicos, como fabricação de guias cirúrgicos de implantes, estruturas para próteses parciais fixas e removíveis, padrões de cera para prótese dentária, próteses de zircônia e moldes para fundição de metais e próteses maxilofaciais e finalmente próteses totais. Um total de 106 artigos foram recuperados e selecionados pelos autores e apenas 50 preencheram os critérios de inclusão. Esta revisão descreve os diferentes procedimentos laboratoriais empregados neste método e confirmou que a técnica de RP foi substancialmente viável na Odontologia. Com o avanço em vários sistemas RP, é possível se beneficiar desta técnica em diferentes consultórios odontológicos, particularmente na implementação de próteses dentárias para diferentes aplicações.

Alharbi et al. (2016) avaliaram o efeito da direção da construção (orientação da camada) nas propriedades mecânicas de um novo material restaurador dentário tridimensional (3D). Com base na direção de impressão, dois grupos foram testados. No primeiro grupo (n = 20), os espécimes foram impressos verticalmente com as camadas orientadas perpendicularmente à direção da carga. No segundo grupo (n = 20), os espécimes foram impressos horizontalmente com as camadas orientadas paralelamente à direção da carga. Todos os espécimes foram fabricados usando a impressora 3D DW028D. Os espécimes foram ensaiados com uma máquina de teste universal a uma velocidade de 1 mm/min, com uma célula de carga de 10 kN. O teste foi realizado à temperatura ambiente (22 °C) sob condições de teste a seco. A média de resistência à compressão para os espécimes impressos verticalmente foi de 297 MPa em comparação com 257 MPa para os espécimes impressos horizontalmente. Ou seja, dentro das limitações deste estudo, pode-se afirmar que a orientação da camada influencia a resistência à compressão do material. Os espécimes impressos verticalmente com as camadas orientadas perpendicularmente à direção da carga têm propriedades mecânicas melhoradas do que as amostras impressas horizontalmente com as camadas orientadas paralelamente à direção da carga.

Shamseddine et al. (2016) avaliaram o ajuste marginal e interno de uma coroa de dissilicato de lítio fabricada a partir de cera convencional ou de um padrão de cera usinada. Dez impressões de silicone foram feitas para um canino superior preparado para receber uma coroa total. Dois copings cerâmicos de dissilicato de lítio prensado foram feitos na matriz. O primeiro foi de um padrão de cera convencional e o segundo de blocos de cera usinada. A técnica

de réplica foi usada para medir o ajuste por microscopia eletrônica de varredura em ampliação de 80x. Os dados coletados foram analisados com o teste t de Student pareado. Para o ajuste oclusal, a diferença nos escores não seguiu uma distribuição normal, e o teste de Wilcoxon foi utilizado ($\alpha = 0,05$). Os valores médios foram $170,3 \pm 50,7 \mu\text{m}$ para o ajuste marginal e $130,3 \pm 21,6 \mu\text{m}$ para o ajuste interno com a técnica convencional. Para o CAD-CAM, foram $105,1 \pm 39,6 \mu\text{m}$ e $98,1 \pm 26,1 \mu\text{m}$. Significância estatística foi encontrada para o ajuste marginal e interno ($P < 0,05$). Os escores interquartis mediana e intervalar de ajuste oclusal foram $305,0 \mu\text{m}$ (269,9 a 334,4) para fabricação convencional e $199,0 \mu\text{m}$ (141,5 a 269,9) para usinagem da cera. As diferenças não foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$). A técnica de enceramento CAD-CAM resultou no melhor ajuste de uma coroa de dissilicato de lítio prensado, diminuindo as discrepâncias marginais e a adaptação interna.

Stansbury e Idacavage (2016) afirmaram que a manufatura aditiva, que é mais coloquialmente referida como impressão 3D, está rapidamente se aproximando como uma técnica de processamento altamente flexível que pode ser aplicada a plásticos, metal, cerâmica, concreto e outros materiais de construção. No entanto, aproveitando a enorme versatilidade associada à fotopolimerização in situ, bem como a capacidade de selecionar uma variedade de polímeros processáveis pré-formados, a impressão 3D tem como alvo principal a produção de peças e modelos poliméricos. O objetivo desta revisão foi conectar as várias técnicas de manufatura aditiva com os materiais monoméricos e poliméricos que eles usam, destacando desenvolvimentos emergentes baseados em materiais. A moderna tecnologia de fabricação aditiva foi introduzida há aproximadamente três décadas, mas esta revisão compila relatórios recentes de literatura revisada por pares para demonstrar a evolução

em andamento com relação às várias técnicas de construção que diferem significativamente na abordagem, bem como as novas variações em materiais baseados em polímeros. O crescimento recente da impressão 3D tem sido dramático e a capacidade das várias tecnologias de plataforma de se expandir de modelos prototípicos de produção rápida para o maior volume de produção prontamente personalizável de peças de trabalho é crítica para altas taxas de crescimento contínuas. Essa transição para a produção de peças em funcionamento é altamente dependente da adaptação de materiais que fornecem não apenas a precisão necessária do projeto, mas também as propriedades físicas e mecânicas necessárias para a aplicação. Com a importante distinção de ser chamada a próxima revolução industrial, as tecnologias de impressão 3D já estão alterando muitas operações industriais e acadêmicas, incluindo a mudança de modelos para a futura prestação de serviços de saúde em medicina e odontologia.

Cunali et al. (2017) avaliaram a adaptação marginal e interna de copings de zircônia fabricados com dois sistemas diferentes, utilizando métodos de avaliação de réplica de silicone e tomografia microcomputadorizada (micro-CT). Um modelo mestre de metal, representando um preparo para uma coroa total de cerâmica pura, foi escaneado digitalmente e copings de zircônia policristalina foram fabricados com Ceramill Zi (Amann-Girrbach) ou inCoris Zi (Dentsply-Sirona), n=10. Para cada coping, as fendas marginais e internas foram avaliadas por réplicas de silicone e métodos de avaliação micro-CT. Quatro pontos de avaliação de cada seção transversal de réplica e imagem micro-CT foram avaliados usando software de imagem: fenda marginal (MG), parede axial (AW), ângulo axio-oclusal (AO) e parede médio-oclusal (MO). Não houve diferença estatisticamente significativa entre os métodos para MG e

AW. Para AO, houve diferenças significativas entre os métodos para copings Amann, enquanto para copings Dentsply-Sirona foram observados valores semelhantes. Para MO, ambos os métodos apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Foi observada correlação positiva determinada pelos dois métodos de avaliação para os valores de MG. Concluindo, o método de avaliação influenciou a avaliação da adaptação marginal e interna dos copings de zircônia.

Lee et al. (2017) avaliaram o ajuste interno da coroa fabricada pelo método de fresagem CAD / CAM e o método de impressão 3D. O modelo principal foi fabricado em aço inoxidável usando máquina CNC e o modelo de trabalho foi criado a partir da impressão de silicone de adição. Após a digitalização do modelo de trabalho, o software de design foi usado para projetar a coroa. O arquivo STL salvo foi usado no método de fresagem CAD / CAM e dois tipos de método de impressão 3D para produzir 10 coroas provisórias por grupo. A medição de discrepância interna usou o método de réplica de silício e os dados medidos foram analisados com ANOVA para verificar a significância estatística. A discrepância dos 3 grupos foram 171,6 (97,4) μm para a coroa fabricada pelo sistema de usinagem e 149,1 (65,9) e 91,1 (36,4) μm , respectivamente, para as coroas fabricadas por impressão 3D.

Mai et al. (2017) avaliaram o ajuste de coroas provisórias fabricadas com impressão 3D com jato de fotopolímero e compará-las com as dos métodos de fresagem e compressão. Doze modelos de estudo foram fabricados por meio da impressão de um modelo mestre de metal do primeiro molar inferior. Em cada modelo de estudo, coroas provisórias (N = 36) foram fabricadas usando métodos de moldagem por compressão (grupo de moldagem, n = 12), fresagem assistida por

computador (grupo de fresagem, n = 12) e impressão 3D por fotopolimerização a jato (grupo de impressão, n = 12). Concluiu-se que as coroas provisórias fabricadas por impressão 3D apresentaram melhor precisão e adaptação interna comparadas às produzidas pelo método convencional e de usinagem.

Toma et al. (2023) avaliaram o uso de polímeros de alto desempenho para restaurações fixas e sua adaptabilidade e processamento com tecnologia CAD/CAM. O estudo in vitro teve como objetivo avaliar o ajuste marginal e interno dos materiais PEEK e PEKK por meio de microtomografia computadorizada. Vinte e quatro (n = 8) onlays MOD feitos de PEKK (Pekkton marfim), PEEK não modificado (Juvora medical) e PEEK modificado (BioHPP) foram investigados. Um primeiro molar mandibular esquerdo typodont foi digitalizado para obter 24 dentes pilares impressos em 3D em resina. As onlays foram confeccionadas com fresadora de cinco eixos e, após a cimentação dos espécimes, foram avaliados os gaps marginais (MG) e internos (IG) em doze pontos na seção méso-distal e treze pontos na seção vestibulo-lingual usando microtomografia computadorizada. Para a análise estatística dos dados, foram aplicados o Teste t de Student pareado/de classificação sinalizada de Wilcoxon, o Teste t de Student de Mann-Whitney/não pareado e o teste ANOVA a um critério. Diferenças significativas ($p < 0,05$; $\alpha = 0,05$) foram relatadas entre MG e IG para cada material para todos os três polímeros e também entre dois materiais em termos de MG e IG (exceto Juvora-BioHPP).

3. METODOLOGIA

Coroas provisórias foram projetadas para um implante com encaixe Morse e abutment universal sólido, de 3,3 mm de diâmetro e 6 mm

de altura (Neodent), com base em um modelo digital de um segundo pré-molar superior obtido no software 3shape. O arquivo STL salvo foi utilizado para fresagem CAD/CAM e impressão 3D para fabricar 10 coroas provisórias por grupo.

As coroas foram divididas em quatro grupos experimentais:

- Grupo 1: ZirkonzahnM4 (Usinado 1)
- Grupo 2: ZirkonzahnM5 (Usinado 2)
- Grupo 3: Flash Forge Hunter (Impressão 1)
- Grupo 4: KLD (Impressão 2)

O munhão universal e as coroas foram limpos com álcool para a leitura no micro-CT. Cada coroa foi adaptada ao modelo-mestre original, colocado na câmara de leitura do micro-CT e escaneado pelo equipamento SkyScan 1172 (Skyscan, Aartselaar, Bélgica). Este equipamento possui fonte de raios-X com geometria em feixe cônico e uma pequena abertura (5 μm), para reduzir a dispersão. O detector utilizado foi uma câmera de 11 megapixels com CCD (dispositivo de carga acoplado). Os parâmetros de escaneamento utilizados foram: tensão de aceleração de 100 kV, corrente de 100 μA , tempo de exposição de 4000 ms por quadro, filtro de Al + Cu e passo de rotação de 0,4 (180° de rotação). O feixe de raios-X foi irradiado perpendicularmente ao eixo longo do preparo, e a resolução (image pixel size) foi de 13 μm .

As projeções de raios-X foram reconstruídas volumetricamente pelo software NRecon, com um cluster de quatro computadores, por meio do cálculo algorítmico de FDK (Feldkamp-Davis-Kress). Foi

utilizado endurecimento de feixe de 100% e correção de artefato em anel de 16 para a reconstrução.

Os dados STL foram importados para o software CAD dental (Zirkonzahn), que foi usado para projetar as coroas virtuais com 35 μm de espaço de cimentação. Inicialmente foi feita a delimitação do término no munhão e, em seguida, projetou-se a coroa virtual. No grupo das coroas provisórias impressas, o mesmo projeto da coroa de pré-molar (dente 25) virtual com espaço de cimentação de 35 μm foi utilizado. Os arquivos de projeto foram transferidos para as duas impressoras 3D (Flash Forge Hunter e KLD), e as coroas provisórias foram fabricadas imprimindo um fotopolímero biocompatível com uma espessura de camada de 50 μm (Ylller). As coroas impressas foram então lavadas completamente sob água corrente e embebidas em isopropanol à temperatura ambiente, de acordo com as instruções do fabricante.

As medidas foram realizadas manualmente por um único operador utilizando o próprio software do Micro-CT, avaliando-se os quatro pontos de interesse descritos anteriormente: um ao longo da parede axial, um no ângulo axio-oclusal e um na superfície oclusal. Os dados foram analisados estatisticamente por ANOVA a dois critérios e teste de Tukey com nível de significância de 0,05.

4. RESULTADOS

A análise de variância a dois critérios para medidas repetidas demonstrou efeito significativo da interação entre o método de obtenção da coroa provisória sobre implante e a localização ($p < 0,001$). Não houve diferença significativa entre os métodos de

fresagem e de impressão 3D ao se avaliar a desadaptação marginal e axial.

O desajuste foi significativamente maior na superfície oclusal, seguido pela região axio-oclusal. A impressora KLD proporcionou valores significativamente maiores de desadaptação geral nas coroas testadas quando comparada com os demais grupos de fabricação.

5. DISCUSSÃO

Discrepâncias internas variaram de forma evidente entre os grupos. Na região axial, algumas coroas no grupo de moldagem mostraram discrepâncias internas desfavoravelmente maiores em comparação com as coroas nos grupos de usinagem e impressão. Grajower e Zuberi verificaram que as coroas não estavam completamente assentadas quando um espaço de cimentação fino era fornecido. Assim, uma discrepância interna reduzida na região axial do grupo de usinagem pode estar intimamente relacionada com a grande discrepância marginal média nesse grupo.

Enquanto isso, na região de concavidade do ângulo axio-oclusal, o grupo de usinagem das duas fresadoras mostrou discrepância significativamente maior do que os dos outros grupos de impressão. No entanto, as coroas do grupo de impressão exibiram a maior precisão na região de concavidade do ângulo axio-oclusal. Este resultado pode ser atribuído a um processo de fabricação inerente diferente. No método de fresagem, um objeto é fabricado de maneira subtrativa usando brocas de corte. Consequentemente, o tamanho da broca e o alcance do movimento de corte são fatores limitantes na fabricação, especialmente em áreas como essa.

Isso pode ser creditado ao fato de que o software usado para projetar restaurações possui uma função de alívio automático, que transforma as áreas ou pontos de pouca definição para leitura em uma imagem que permita a usinagem usando um algoritmo específico. Isso é muito frequente nos pontos axio-oclusais de pesquisas com preparos sobre dente. Embora essa função seja essencial para o uso prático, o processo pode resultar em um grande desvio na região oclusal e agravar o ajuste da restauração. Como no presente trabalho foi utilizado um munhão universal de fácil leitura — pois trata-se de um pilar liso e polido que não apresenta irregularidades ou retenções de preparo manual como nos casos sobre dente —, não houve problema crônico derivado da leitura nessa região específica.

O método de impressão 3D usa um padrão aditivo de aplicação de materiais camada por camada. Assim, esse método permite a fabricação de objetos com estruturas complexas, sem a necessidade de modificação artificial do formato, especialmente em pontos como esse que apresentam ângulos mais definidos (Alharbi et al., 2016). Esses achados sugerem que uma diferença no mecanismo de fabricação afeta o ajuste da restauração, especialmente na região oclusal, onde o método de impressão 3D diminuiu significativamente a discrepância interna em relação ao método de fresagem, concordando com achados prévios (Mai et al., 2017).

Existem vários métodos de medição de ajuste da prótese dentária: por sonda, réplica, micro-CT, etc. Cada um dos métodos apresenta vantagens e desvantagens. O método clínico pela sonda utilizando os critérios USPHS ou réplica podem ter a influência ou erro do operador, pois estudos anteriores relataram que o procedimento de sondagem ou corte poderia ser problemático, pois pode levar a

planos oblíquos ou diferentes (Nawafleh et al., 2013). Embora a sondagem ou corte manual possa ser realizado com cuidado, não é possível excluir totalmente o erro humano. Como resultado, o ajuste pode ser superestimado ou subestimado. No presente estudo, o micro-CT elimina esses erros do operador.

6. CONCLUSÕES

O ajuste marginal e interno de coroas provisórias sobre implantes fresadas por CAD/CAM e impressas em 3D é diretamente influenciado pelo método de fabricação digital selecionado. Além disso, os níveis medidos de desajuste variaram entre os diferentes pontos anatômicos e de referência na avaliação interna das coroas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHARBI, N.; BARSMEIER, R.; EDELHOFF, D. K. C.; SCHWEIGER, J. Effect of build direction on the mechanical properties of 3D-printed dental restorative materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 115, n. 6, p. 760-767, Jun. 2016.

AN, K. H.; CHUNG, K. H.; RAMOS, V. JR. Comparison of the marginal fit of zirconia copings fabricated by computer-aided design and computer-aided manufacturing and conventional techniques. *Journal of Prosthodontics*, v. 23, n. 2, p. 145-152, Jan. 2014.

BORBA, M.; BONFANTE, E. A. M.; CEOTTO, M. F. C. Micro-CT evaluation of marginal and internal fit of fixed partial dentures. *Journal of Dentistry*, v. 41, n. 12, p. 1110-1116, Dec. 2013.

CONTREPOIS, M.; SOANEN, A.; CUADRADO, J. P. Marginal fit of ceramic crowns: a systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*,

v. 110, n. 4, p. 248-254, Oct. 2013.

CUNALI, R. S.; PEREIRA, J. R.; JORGE, J. H. Assessment of the marginal and internal adaptation of zirconia copings using silicone replica and micro-CT techniques. *Journal of Prosthodontics*, v. 26, n. 3, p. 220-227, Apr. 2017.

FELTON, D. A.; KANOY, B. E.; BAYNE, S. C. Effect of marginal fit on periodontal health. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 65, n. 3, p. 320-328, Mar. 1991.

GRAJOWER, R.; ZUBERI, Y. Thickness of spacer layers and the fit of full crowns. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 62, n. 2, p. 150-157, Aug. 1989.

LEE, S. H.; KIM, K. H.; YAU, H. T. Internal fit of provisional crowns fabricated with CAD/CAM milling and 3D printing methods. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 117, n. 2, p. 250-258, Feb. 2017.

MAI, H. N.; CHUNG, K. H.; RAMOS, V. JR. Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 118, n. 2, p. 208-215, Aug. 2017.

NAWAFLEH, N. A.; MACK, F.; EVANS, J. Accuracy and reliability of methods to measure marginal adaptation of crowns and FDPs: a literature review. *Journal of Prosthodontics*, v. 22, n. 5, p. 419-428, Jul. 2013.

REGISH, K. M.; SHARMA, D.; SHETTY, M. S. Importance of provisional restorations in fixed prosthodontics. *International Journal of Dentistry*, v. 2011, p. 1-6, Oct. 2011.

SHAMSEDDINE, L. M.; CHUNG, K. H.; YAU, H. T. Marginal and internal fit of lithium disilicate crowns fabricated from conventional or computer-aided design waxing patterns. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 116, n. 3, p. 395-402, Sep. 2016.

STANSBURY, J. W.; IDACAVAGE, M. J. 3D printing with polymers for dental applications. *Dental Materials*, v. 32, n. 3, p. 322-332, Mar. 2016.

SUN, Y.; ZHANG, X. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics. *Journal of Prosthodontics*, v. 21, n. 4, p. 330-337, May 2012.

TOMA, F. R.; MOLERIU, L. C.; POROJAN, L. Micro-CT Marginal and Internal Fit Evaluation of CAD/CAM High-Performance Polymer Onlay Restorations. *Polymers (Basel)*, v. 15, n. 7, p. 1715, Mar. 2023.

TORABI, K.; KHAN, M. A.; LEVON, J. Rapid prototyping technologies in prosthodontics: a literature review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 113, n. 5, p. 400-409, May 2015.

¹ Dental Research Center, São Leopoldo Mandic Institute, Campinas

² Dental Research Center, São Leopoldo Mandic Institute, Campinas

³ Department of Dentistry, University of Brasília, DF, Brazil