

Aspectos Mecânicos sobre Resina Impressa 3D para Confeção de Restaurações Provisórias: uma Revisão Integrativa da Literatura

Mechanical Aspects Of 3D-Printed Resin for the Fabrication of Provisional Restorations: an Integrative Literature Review

Aspectos Mecánicos de la Resina Impresa en 3D para la Fabricación de Restauraciones Provisionales: una Revisión Integrativa de la Literatura

Raffael Gomes **PIMENTEL**

Graduando em Odontologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-901, Recife – PE, Brasil
<https://orcid.org/0009-0008-1251-7580>

Marina Andrade Lima **ALMEIDA**

Graduanda em Odontologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-901, Recife – PE, Brasil.
<https://orcid.org/0009-0003-0155-4187>

Sandro Matheus Albuquerque da **SILVA**

Graduando em Odontologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-901, Recife – PE, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-0464-6461>

Clarisse Maria Luiz **SILVA**

Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - PPG-CASB, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 12245-000, São José dos Campos – SP, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-0624-7285>

Antonio José **TÔRRES NETO**

Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - PPG-CASB, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 12245-000, São José dos Campos – SP, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-3162-8485>

Viviane Maria Gonçalves de **FIGUEIREDO**

Professora Adjunta, Departamento de Prótese e Cirurgia Buco-Facial, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-901, Recife – PE, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-4657-0984>

Resumo

Introdução: As próteses dentárias temporárias devem apresentar resistência mecânica, ao desgaste, biocompatibilidade e estética satisfatória para uso clínico. Diversos materiais estão disponíveis no mercado, com diferentes composições químicas, exigindo avaliação do desempenho clínico e do custo. Resinas à base de Polimetilmetacrilato (PMMA) têm desempenho mecânico inferior quando comparadas às resinas digitais, como as fresadas por CAD-CAM ou impressas em 3D. **Objetivo:** Revisar integrativamente a literatura sobre os aspectos mecânicos das resinas impressas em 3D para restaurações provisórias. **Material e Método:** A revisão foi baseada na estratégia PICO, com busca de artigos entre maio e outubro de 2023 nas bases BVS, PubMed, Cochrane Library e Science Direct. Foram usados descritores, sinônimos e termos de título e resumo, além de busca manual nas referências dos artigos incluídos. Os critérios de inclusão foram estudos in vivo, in vitro ou in silico que compararam o desempenho mecânico de resinas impressas em 3D com resinas convencionais em prótese fixa provisória. Excluíram-se estudos que não realizaram essa comparação, pesquisas sobre outros tipos de resina ou uso, e artigos de revisão, opinião ou relatos de caso. **Resultados:** Foram incluídos quatro estudos in vitro, todos com baixa evidência científica. Os resultados foram conflitantes: em alguns, a resina 3D superou a convencional; em outros, foi inferior. **Conclusão:** Os achados foram inconclusivos quanto à superioridade mecânica das resinas impressas em 3D frente às convencionais.

Descritores: Prótese Dentária; Impressão em 3D; Polímeros; Resistência à Flexão.

Abstract

Introduction: Temporary dental prostheses must exhibit mechanical strength, wear resistance, biocompatibility, and acceptable esthetics for clinical use. There is a variety of materials available with different chemical compositions, requiring evaluation of clinical performance and patient cost. Polymethyl methacrylate (PMMA)-based resins show inferior mechanical behavior compared to digital resins, such as those milled via CAD-CAM or 3D printed. **Objective:** To integratively review the literature regarding the mechanical properties of 3D-printed resins for provisional restorations. **Material and Method:** The review was based on the PICO strategy. Article searches were conducted from May to October 2023 in BVS, PubMed, Cochrane Library, and Science Direct, using descriptors, synonyms, and terms in titles and abstracts, plus manual reference checks. Inclusion criteria were in vivo, in vitro, or in silico studies comparing the mechanical performance of 3D-printed and conventional resins in fixed provisional prostheses. Exclusion criteria included studies without such comparison, studies on other types or uses of resin, and reviews, opinion pieces, or case reports. **Results:** Four in vitro studies were included, all with low scientific evidence. The findings were inconsistent: in some, 3D-printed resin was mechanically superior; in others, it was inferior. **Conclusion:** The literature review yielded inconclusive results regarding the mechanical superiority of 3D-printed resins over conventional ones.

Descriptors: Dental Prosthesis; 3D Printing; Polymers; Flexural Resistance.

Resumen

Introducción: Las prótesis dentales temporales deben tener resistencia mecánica, al desgaste, biocompatibilidad y estética adecuada para uso clínico. Hay diversos materiales en el mercado con distintas composiciones químicas, lo que exige evaluar su desempeño clínico y el costo para el paciente. Las resinas a base de Polimetilmetacrilato (PMMA) presentan desventajas mecánicas frente a las resinas digitales, como las fresadas por CAD-CAM o impresas en 3D. **Objetivo:** Revisar de forma integrativa la literatura sobre los aspectos mecánicos de las resinas impresas en 3D para restauraciones provisionales. **Material y Método:** La revisión se basó en la estrategia PICO. Se realizó una búsqueda de artículos entre mayo y octubre de 2023 en BVS, PubMed, Cochrane Library y Science Direct, con descriptores, sinónimos y términos del título y resumen, además de búsqueda manual en referencias. Se incluyeron estudios in vivo, in vitro o in silico que compararan el rendimiento mecánico de resinas impresas en 3D con resinas convencionales para prótesis fija provisional. Se excluyeron estudios que no hicieran esta comparación, investigaciones sobre otros usos de resinas, y artículos de revisión, opinión o casos clínicos. **Resultados:** Se incluyeron cuatro estudios in vitro, todos con baja evidencia científica. Los resultados fueron contradictorios: en algunos, la resina 3D fue superior; en otros, inferior. **Conclusión:** Los hallazgos fueron inconclusos respecto a la superioridad mecánica de las resinas impresas en 3D frente a las convencionales.

Descriptores: Prótesis Dental; Impresión 3D; Polímeros; Resistencia a la Flexión.

INTRODUÇÃO

As próteses dentárias, mesmo que sejam para uso temporário, precisam apresentar resistência mecânica, resistência ao desgaste, biocompatibilidade, além de ter estética satisfatória para estar apta ao uso clínico. Para atender todos os requisitos necessários, existe no mercado uma variedade de materiais que podem ser usados para confecção dessas próteses ou restaurações, e com diferentes composições químicas. Para escolher um material ou uma técnica que melhor se encaixe para o caso, é imprescindível que se considere o seu comportamento clínico¹ e o custo para o paciente². Portanto, nesse contexto as resinas confeccionadas a base de Polimetilmetacrilato (PMMA) apresentam desvantagem devido à baixa capacidade mecânica, sendo nesse ponto superadas pelas resinas de fabricação digital, como as resinas fresadas por *Computer-aided design - Computer-aided manufacturing* (CAD- CAM) ou impressas em 3D².

A partir dos avanços nas técnicas digitais em Odontologia é possível a produção decoroas, restaurações, próteses provisórias, dispositivos oclusais em múltiplas camadas pela manufatura aditiva da Impressão tridimensional ou também conhecida como Prototipagem Rápida, fazendo com que o tempo e as despesas possam ser economizados³⁻⁸. Embora o processo digital envolva várias etapas manuais para o cirurgião-dentista e o técnico em prótesedentária, economias consideráveis de tempo e custos são possíveis ao adotar a fabricação como sistemas CAD-CAM³, sendo cada vez mais aplicada na odontologia¹.

Os métodos típicos para impressão de materiais poliméricos incluem Processamento digital por luz (*Digital Light Processing - DLP*), Estereolitografia (*Stereolithography - SLA*), Modelagem por deposição fundida (*Fused deposition modeling - FDM*) e Sinterização seletiva a laser (*Selective laser sintering - SLS*)^{4,9,10}. No FDM o objeto é fabricado em camadas através do aquecimento do material, dessa forma o modelo ou peça é produzido pela extrusão de pequenos grânulos de um material termoplástico para formar camadas à medida que o material endurece imediatamente após a extrusão do bico⁹. Para o SLA, o objeto é construído através de sucessivas camadas finas de uma resina fotossensível curado por ultravioleta, assim o líquido (resina) é polimerizado à medida que o feixe de luz atrai o objeto para a superfície⁹. Por fim, o método DLP ocorre tal qual o método SLA, contudo se diferencia pelo uso da luz e pela polimerização da camada de uma única vez, fazendo deste método mais rápido que o SLA^{4,10}. A tecnologia para viabilizar esses procedimentos já está disponível no mercado odontológico⁸ e novas resinas de impressão 3D

estão sendo desenvolvidas e comercializadas rapidamente¹.

No entanto, atualmente há falta de informações sobre o desempenho de ambos, materiais dentários impressos 3D e de impressoras 3D compatíveis com eles⁸. Embora a literatura tenha relatado sobre a precisão dos produtos odontológicos impressos 3D, não há muitas referências aos aspectos mecânicos⁴ em comparação com outros materiais restauradores¹. Entretanto, observa-se resultados favoráveis quanto ao uso da resina impressa 3D, dessa forma, mais estudos são necessários em termos de técnicas de impressão e composição dos materiais, fatores importantes para as propriedades mecânicas e aceitável desempenho para aplicação clínica⁷. Como também, os materiais restauradores oriundos da tecnologia digital ainda não têm suas características esclarecidas após o uso prolongado.

Portanto, estudos comparativos entre os diferentes tipos de resinas disponíveis são de suma importância para a qualidade do serviço prestado ao paciente². Com base no exposto, objetivou-se revisar a literatura de forma integrativa através dos aspectos mecânicos sobre resina impressa 3D para confecção de restaurações provisórias.

MATERIAL E MÉTODO

○ Pergunta norteadora

A pergunta norteadora para o seguinte estudo foi: "O desempenho, quanto à resistência mecânica, das resinas impressas 3D para confecção de restaurações provisórias é mais favorável que as resinas acrílicas convencionais (autopolimerizável e termopolimerizável)?".

○ Método

Tratou-se de uma Revisão Integrativa da Literatura que sintetiza as pesquisas disponíveis sobre a temática a ser abordada e direciona a prática fundamentando-se em conhecimento científico, com a estruturação da pesquisa baseada na estratégia PICO. A estratégia PICO desta revisão foi direcionada pelos seguintes elementos: População - pacientes adultos com necessidade de prótese fixa; Intervenção - Restaurações Provisórias impressas 3D; Controle - Restaurações Provisórias com Materiais e Técnicas Convencionais; por fim "Outcome" - Restaurações Provisórias impressas 3D apresentam desempenho mecânico semelhante ou superior as Restaurações Provisórias Convencionais.

○ Critério de elegibilidade

A presente revisão da literatura apresentou a estratégia de busca ("3d printed") and ("provisional crown" or "temporary material") and ("fracture strength" or "flexural strength" or "mechanical") a ser realizada nas bases de dados: Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) <https://bvsalud.org/>; Pubmed

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, Cochrane Library <https://www.cochranelibrary.com/> e Science Direct <https://www.sciencedirect.com/>. Por meio de artigos publicados em português e inglês, entre 2018 a 2023, sendo a pesquisa realizada entre os meses de maio a outubro de 2023. Os termos-chave da estratégia de busca foram baseados em descritores, sinônimos, termos presentes em título e resumo. Além de ser adotado filtros como estudos laboratoriais, estudos clássicos e estudo clínico, quando a base de dados apresentava esta opção. Por fim, foi realizada uma busca manual através das referências apresentadas pelos artigos incluídos na revisão.

Os critérios de inclusão nesta revisão foram estudos com artigos de pesquisa *in vivo*, *in vitro* ou *in silico*, que promoveu a comparação do aspecto mecânico entre as resinas impressas 3D e resinas convencionais para confecção de restaurações provisórias em prótese fixa. Os critérios de exclusão foram estudos que não compararam as resinas impressas 3D e resinas convencionais para confecção de provisórios, pesquisas que não avaliaram o desempenho mecânico das resinas em estudo testadas, estudos sobre resinas impressas para dispositivos oclusais, restaurações finais, restaurações pediátricas e base de dentadura, caso clínico, artigos de opinião, revisão da literatura, revisão sistemática e metanálise.

○ Seleção do estudo

Os títulos e resumos de todos os trabalhos foram analisados por dois revisores (RGP e VMGF). Todos os estudos que preencheram os critérios de inclusão foram selecionados para leitura do texto completo e incluídos para extração dos dados, enquanto eram registradas as razões para a exclusão.

○ Extração dos dados

Os dados completos dos textos selecionados foram extraídos pelos revisores. A coleta de dados foi baseada nos resultados sobre aspectos mecânicos sobre resina impressa 3D para confecção de restaurações provisórias.

○ Análise dos dados

Os dados foram coletados e incluídos em Tabelas, a extração dos dados das pesquisas incluídas foi feita através da criação de tabela padronizada no Word. O nível de evidência científica foi baseado na classificação do "Oxford Centre for Evidence-based Medicine", citada no artigo de Demathé et al.¹¹. A extração de todos os dados foi realizada por dois revisores e a partir dos dados obtidos foram criadas tabelas a fim de sumarizar os achados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Artigos Incluídos

Nas bases de dados Pubmed e Science Direct foram identificados artigos passíveis de

serem incluídos na pesquisa, enquanto a BVS e Cochrane Library não apresentaram artigos durante a identificação. Os artigos excluídos (10) abordavam sobre: revisão sistemática e metanálise (01), revisão sistemática (02), material para aplicação pediátrica (01), resina impressa para base de dentadura (04) e compósito não temporário (02). Dessa forma, foram rastreados 14 artigos através do Pubmed e 01 artigo pelo Science Direct. Dentre os artigos rastreados através da Pubmed, 12 artigos foram excluídos por não analisar a comparação entre resina impressa 3D e resina convencional. Por fim, 03 artigos foram selecionados para serem avaliados quanto à elegibilidade, sendo 02 artigos do Pubmed e 01 artigo do Science Direct. Após a leitura completa dos artigos selecionados, todos foram incluídos para extração e análise dos dados. E a partir da busca manual, 01 artigo também foi incluído para pesquisa, assim totalizando 04 artigos incluídos. A Tabela 1 mostra a qualidade dos artigos revisados, a Figura 1 a busca e a seleção dos artigos, as Tabelas 2 e 3 mostram a sumarização dos achados.

Tabela 1. Nível de evidência científica dos artigos incluídos na revisão, baseado no artigo de Demathé et al.¹¹.

Autor(Ano)	Grau de Recomendação	Nível de Evidência
Tahayeri et al. ⁸ , 2018	D	5
Park et al. ⁴ , 2020	D	5
Al-Qahtani et al. ⁶ , 2021	D	5
Simoneti et al. ¹ , 2021	D	5

Fonte: Dados da Pesquisa

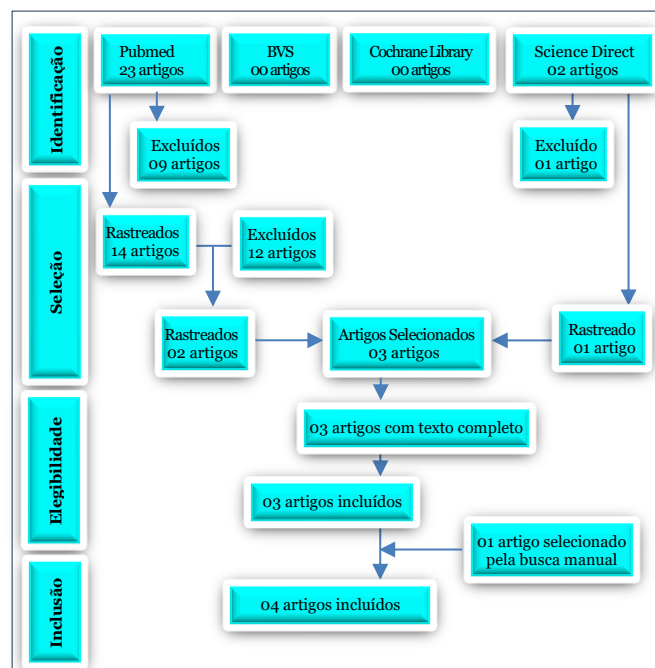


Figura 1: Fluxograma da busca e seleção de artigos para revisão.

○ Resistência Mecânica

No estudo de Tahayeri et al.⁸ constatou-se que em relação ao pico de tensão, os valores

observados foram semelhantes entre as resinas impressa 3D e bisacrílica, além de significativamente maiores que o valor apresentado pela resina acrílica. Contudo, observou-se que o módulo de elasticidade das amostras impressas em 3D foi estatisticamente equivalente às amostras confeccionadas por resina acrílica, mas significativamente menor que as amostras produzidas pela resina bisacrílica.

O desempenho mecânico da ponte fixa com distintas resinas pesquisadas por Park et al.⁴ mostrou que a resistência à flexão do grupo SLA foi significativamente maior do que os outros grupos ($p < 0,001$), e os grupos DLP e SM não foram estatisticamente significativos ($p = 0,481$). O grupo CV apresentou os menores valores de resistência entre os grupos, como também os espécimes do grupo FDM não fraturaram durante o ensaio mecânico, apenas foram amassados. Quanto à análise de fratura, os espécimes do grupo CV tiveram diferentes tipos de danos como fraturas, fissuras, e alguns se dividiram em vários pedaços especialmente na área do conector. Para o grupo SM, os espécimes não foram fraturados, mas mostraram fissuras na região de pântico. Por fim, todos os espécimes do grupo DLP fraturaram em vários fragmentos. A maioria dos espécimes do grupo SLA apresentava pequenas fraturas, enquanto alguns tinham apenas fissuras na região do pântico (Gráfico 1).

Tabela 2. Características dos estudos incluídos

Tahayeri et al.⁸, 2018	
Objetivo	Otimizar a impressão 3D de um material para restaurações provisórias de coroas e pontes utilizando e comparar suas propriedades mecânicas com materiais provisórios convencionais
Tipo de Estudo	<i>In Vitro</i>
Variáveis	Materiais Resinosos Provisórios Orientação de Impressão Camada de Impressão Diferentes colorações
Tipo de Resina	Resina impressa 3D (NextDent C&B, Vertex Dental, Netherlands) Resina Bisacrílica (Integrity®, Dentsply, CA) Resina Acrílica (Jet®, Lang Dental Inc., IL)
Tipo de Espécime	Barras (N=6); Coroas (-)
Grupos Experimentais	-
Análises	Resistência à flexão 3 Pontos Grau de Conversão Acurácia da impressão Módulo de elasticidade Intensidade do Laser para diferentes cores de resina impressa 3D
Envelhecimento	-
Park et al.⁴, 2020	
Objetivo	Avaliar o efeito de vários princípios da manufatura aditiva na resistência à flexão de restaurações provisórias com três unidades
Tipo de Estudo	<i>In Vitro</i>
Variáveis	Materiais Resinosos Provisórios
Tipo de Resina	Resina Acrílica Autopolimerizável (Jet®, Lang Dental Inc., IL) Resina Fresada em CAD-CAM (ViPi Co) Resina Impressa 3D (NextDent Co.; Formlabs Co.; ColorFabb Co.)
Tipo de Espécime	Ponte Fixa de 3 elementos (N=15)
Grupos Experimentais	Resina convencional (CV) Resina Fresada em CAD-CAM (SM) Resina Impressa 3D pelo processamento digital de luz (DLP) Resina Impressa 3D pela estereolitografia (SLA) Resina Impressa 3D pela modelagem de deposição fundida (FDM)
Análises	Resistência à Flexão Fractografia Análise superficial dos espécimes impressos por microscopia eletrônica de varredura
Envelhecimento	-

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 2 (continuação). Características dos estudos incluídos

Al-Qahtani et al.⁶, 2021	
Objetivo	Comparar a rugosidade superficial, dureza e resistência à flexão de restaurações provisórias de resina fabricadas com CAD-CAM (CC), impressão 3D (3D) e técnicas convencionais (CV)
Tipo de Estudo	<i>In Vitro</i>
Variáveis	Materiais Resinosos Provisórios
Tipo de Resina	Resina Acrílica (Jet Tooth Shade™ Self-Curing Acrylic Resin, 6/1. Illinois, IL, USA). Resina Fresada em CAD-CAM (Ceramill Temp, tonalidade A1, AmannGirrbach, AG, Koblach, Áustria) Resina Impressa 3D (Freeprint Temp; DETAX GmbH & Co. KG, Ettlingen, Alemanha)
Tipo de Espécime	Barras (N=10); Discos (N=20)
Grupos Experimentais	Resina convencional (CV) Resina Fresada em CAD-CAM (CC) Resina Impressa 3D (3D)
Análises	Rugosidade superficial Microdureza Vickers Resistência à flexão 3 pontos
Envelhecimento	-
Simoneti et al.¹, 2021	
Objetivo	Comparar as propriedades e o desempenho mecânico de materiais para restauração provisória, obtidos por técnicas de impressão 3D com diferentes tecnologias e por técnicas convencionais
Tipo de Estudo	<i>In Vitro</i>
Variáveis	Materiais Resinosos Provisórios
Tipo de Resina	Resina Acrílica (Dencor; Artigos Odontológicos Clássico Ltda.) Resina Bisacrílica (Yprov Bisacryl; Yller Biomaterials) Resina Impressa 3D (Gray Resin; Formlabs Inc)
Tipo de Espécime	Coroas unitárias provisórias (n=10) Blocos retangulares (n=10) Discos (n=10)
Grupos Experimentais	Resina Acrílica Resina Bisacrílica Resina Impressa 3D (SLA) Resina Impressa 3D (SLS)
Análises	Rugosidade superficial Microdureza Vickers Resistência à flexão 3 pontos Formação de biofilme
Envelhecimento	Fadiga Mecânica (120.000 ciclos)

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 3: Parâmetros de impressão 3D, limpeza e pós-cura

Tahayeri et al.⁸, 2018	
Software CAD	Free CAD v.0.15
Resina Impressa 3D (Composição)	NextDent C&B (-)
Método de Impressão (Impressora)	-
Software da Impressora 3D	PreForm Software 2.10.3
Camada de Impressão	25, 50, 100 µm
Orientação de Impressão	0, 15, 45, 90 graus
Limpeza	Lenços
Pós-Cura (tempo)	-
Park et al.⁴, 2020	
Software CAD	exoCAD, Darmstadt, Alemanha
Resina Impressa 3D (Composição)	NextDent Co. (material base Polimetilmetacrilato) (grupo DLP) Formlabs Co. (material base Polimetilmetacrilato) (grupo SLA) ColorFabb Co. (material base Ácido Polilático) (grupo FDM)
Método de Impressão (Impressora)	Processamento digital por luz Digital Light Processing - DLP (D-1500) (grupo DLP) Estereolitografia Stereolithography - SLA (Form 2) (grupo SLA) Modelagem de deposição fundida Fused deposition modeling - FDM (Creator pro) (grupo FDM)
Software da Impressora 3D	VeltzBP (grupo DLP) PreForm (grupo SLA) Simplify3D (grupo FDM)
Camada de Impressão	100 µm (grupo DLP) 100 µm (grupo SLA) 200 µm (grupo FDM)
Orientação de Impressão	30 graus
Limpeza	Limpeza com álcool isopropílico 100% e banho em ultrassom (grupo DLP) Limpeza com álcool isopropílico 100% e banho em ultrassom (grupo SLA) Não houve limpeza para o grupo FDM
Pós-Cura (tempo)	Câmara de luz UV (Denstar (Denstar Co., Daegu, Coreia) (120 min grupo DLP) Câmara de luz UV (Denstar (Denstar Co., Daegu, Coreia) (60 min grupo SLA) Não houve pós-cura para o (grupo FDM)

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 3 (continuação). Parâmetros de impressão 3D, limpeza e pós-cura

Al-Qahtani et al. ⁶ , 2021	
Software CAD	Ceramill Mind
Resina Impressa 3D (Composição)	Freeprint Temp (-) (grupo 3D)
Método de Impressão (Impressora)	Estereolitografia Stereolithography - SLA (MiiCraft 125; MiiCraft) (grupo 3D)
Software da Impressora 3D	-
Camada de Impressão	-
Orientação de Impressão	-
Limpeza	Limpeza com álcool isopropílico 99% (60s), seguido por secagem com ar comprimido
Pós-Cura (tempo)	Câmara de luz UV (Paul H. Gesswein & Co., Inc., Bridgeport, EUA) (5 min)
Simonetti et al. ¹ , 2021	
Software CAD	Zirkonzahn; Zirkonzahn GmbH
Resina Impressa 3D (Composição)	Gray Resin; Formlabs Inc (Metacrilatos de oligômeros, monômeros de metacrilato, Fotoinibidores, Pigmentos, Aditivos especiais) (grupo SLA) PA2201; Stratasys Direct Manufacturing (Nilon PA2201) (grupo SLS)
Método de Impressão (Impressora)	Estereolitografia Stereolithography - SLA (grupo SLA) Sinterização seletiva a Laser Selective laser sintering - SLS (grupo SLS)
Software da Impressora 3D	-
Camada de Impressão	-
Orientação de Impressão	Camadas Horizontais
Limpeza	-
Pós-Cura (tempo)	Câmara de luz LED (60 graus 30 min grupo SLA) Não houve pós-cura para o (grupo SLS)

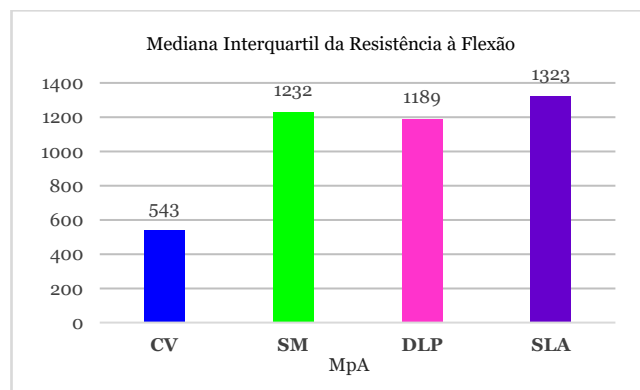


Gráfico 1: Valores das medianas da resistência flexural (Mpa) entre os grupos experimentais no estudo de Park et al.⁴

Para avaliação da resistência à flexão entre diferentes resinas, foi identificado os maiores e menores valores de média para resina fresada em CAD-CAM e resina acrílica, respectivamente. Enquanto, a resistência apresentada pela resina impressa 3D mostrou um valor intermediário, dessa forma foi determinada uma diferença significativa entre os grupos em estudo ($p < 0,05$). No entanto, já não foi observada a mesma diferença estatística ($p > 0,05$) entre a resina fresada em CAD-CAM e a resina impressa 3D. Por fim, os espécimes de resina acrílica apresentaram resistência significativamente menor ($p < 0,05$) em comparação às demais resinas em estudo⁶ (Gráfico 2).

No estudo de Simonetti et al.¹ foi observada uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$) entre a resistência máxima à flexão e o pico estresse entre os grupos estudados; com a resina impressa 3D do grupo SLA apresentando os valores mais baixos, seguida pela resina acrílica,

bis-resina acrílica e resina impressa 3D SLS. Porém, ao considerar os módulos elásticos dos diferentes materiais, os valores mais baixos foram observados para ambos os materiais de impressão 3D (SLA e SLS), que foram quase metade dos valores dos grupos resina acrílica e resina bisacrílica ($p < 0,001$). Quanto ao ensaio de fadiga, ciclagem mecânica, os corpos de prova de resina SLA não resistiram à compressão a que foram submetidos, contudo nenhuma fratura foi observada nos outros grupos testados (Gráfico 3).

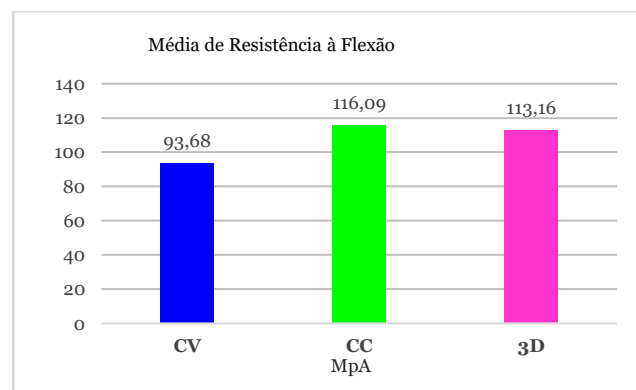


Gráfico 2: Valores de média resistência flexural (Mpa) entre os grupos experimentais no estudo de Al-Qahtani et al.⁶

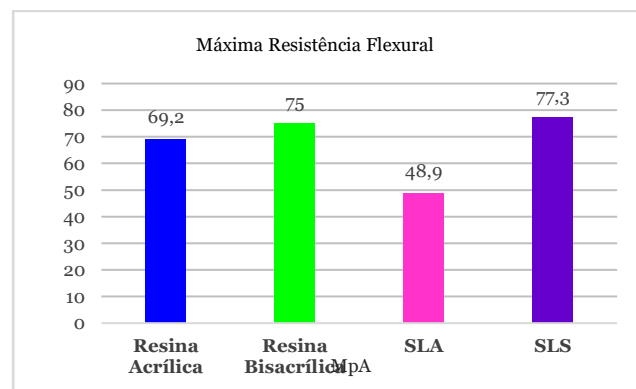


Gráfico 3: Valores de máxima resistência flexural (Mpa) entre os grupos experimentais no estudo de Simonetti et al.¹

DISCUSSÃO

A literatura sobre a temática em questão ainda se apresenta escassa pelo número reduzido de artigos incluídos, além de não ser possível identificar artigos nas bases de dados BVS e Cochrane Library. Embora diversos artigos tenham sido rastreados, muitos foram excluídos por não compararem a resina impressa 3D e resina convencional sobre o aspecto mecânico em estudo, a resistência à fratura. Quanto ao nível de evidência científica, todos artigos incluídos para extração dos dados eram pesquisas *in vitro*, consequentemente apresentando baixa evidência quanto aos dados avaliados e restringindo a extrapolação dos resultados para a clínica diária.

Os estudos incluídos nesta revisão observaram desfechos distintos para o aspecto

mecânico da resina impressa 3D em comparação com a resina acrílica convencional. Houve uma superação da resina impressa 3D quanto aos valores de resistência mecânica observados nos estudos de Tahayeri et al.⁸, Park et al.⁴ e Al-Qahtani et al.⁶. No entanto, os achados da pesquisa de Simonetti et al.¹ mostraram que apenas o grupo SLS superou os valores alcançados pela resina acrílica e o grupo SLA apresentou valores inferiores ao grupo controle. Portanto, a pergunta norteadora não é possível de ser respondida, por não haver homogeneidade entre os dados de resistência à fratura analisados nos artigos incluídos para revisão.

A Prototipagem Rápida ou Impressão 3D tem potencial para aplicação odontológica sendo um procedimento que pode beneficiar a produção de restaurações provisórias pela rapidez no processo. Isto pode potencialmente aumentar a produtividade na clínica e permitir uma forma mais prática de fazer restaurações provisórias. Ou seja, não é difícil imaginar uma situação clínica em que o cirurgião-dentista poderia preparar um dente, escaneá-lo, enviá-lo para uma impressora 3D no consultório e prosseguir com outros procedimentos no mesmo paciente enquanto a coroa está sendo impressa. A parte impressa seria facilmente separada dos suportes e imediatamente cimentada⁸. Mesmo que se observe o quanto a impressão 3D possa agregar ao consultório odontológico, por outro lado diversos fatores podem interferir no desempenho mecânico da resina impressa 3D. Dentre esses fatores pode-se destacar a acurácia da impressão, a orientação de impressão, camada de impressão, coloração da resina, grau de conversão, pós-cura, técnica de impressão⁸ e composição química das resinas¹.

No estudo de Tahayeri et al.⁸ o pós-cura não foi realizado sobre os espécimes da resina impressa 3D, sendo esse processo significativo na viabilidade deste material para aplicação clínica. Sendo assim, vale ressaltar que o desempenho mecânico do material impresso provavelmente aumentaria substancialmente após a pós-polimerização. O que sugere que a não-realização do pós-cura gerou consequências no grau de conversão da resina, que apresentou barras mais polimerizadas no topo e na base, mostrando similaridade com a resina acrílica neste fator em avaliação e a resina bisacrílica foi o material temporário que apresentou uma polimerização mais homogênea. Talvez a ausência de uma polimerização mais equilibrada ao longo do espécime, fez com que a resina impressa 3D não superasse a resistência da resina bisacrílica.

A razão para a alta resistência à flexão do grupo SLA pode ser explicada pela morfologia da superfície do objeto impresso e pela técnica de impressão. Na técnica DLP, cada fatia é eliminada

da tela única exibida no chipset, e as linhas em cada fatia parecem ásperas devido ao limite de resolução do chipset. Por outro lado, na impressão do grupo SLA cada fatia é finalizada por um feixe de laser, de modo que a superfície do objeto seja relativamente suave. Na área específica onde a ligação entre camadas é fraca, a fratura pode ocorrer mais rapidamente se a superfície for rugosa⁴.

Já a ausência de fratura para o grupo FDM se deve a alta elasticidade da resina, comparada a resina do grupo DLP que apresenta elasticidade significativamente baixa e com fraturas em várias regiões da ponte fixa. O quesito modo de fratura é importante a se observar, ao fabricar restaurações provisórias com tecnologia DLP, na prática clínica por poder machucar o paciente com fragmentos da restauração fraturada. Esta é uma característica dos materiais acrílicos à base de acrilato de bisfenol que apresentam boa dureza superficial, mas são frágeis e derivados da estrutura química do bisfenol que pode ser a composição da resina do grupo DLP. Enquanto o grupo FDM tem o Ácido Polilático como componente básico do material, diferente das demais resinas testadas no estudo de Park et al.⁴ que apresentam o PMMA como componente básico. Logo, observou-se que as propriedades do PMMA podem variar de acordo com os materiais adicionais utilizados nos distintos processamentos de resina, por refletir padrões de fratura distintos. Por fim, o padrão de fratura do espécime do grupo SLA foi diferente, talvez o acrilato de uretano tenha sido adotado neste grupo, que possui excelente tenacidade e baixa dureza superficial uma propriedade derivada da ligação com o uretano. As pontes fixas do grupo SM não se fraturaram em pedaços pontiagudos, ou seja, essa resina se mostra mais segura contra lesões ao paciente⁴.

Os resultados observados no estudo de Al-Qahtani et al.⁶ podem ser atribuídos a diferentes influências na composição do material, incluindo o tipo e quantidade de partículas de enchimento, tipo de luz de cura para polimerização, temperatura de processamento, parâmetros de impressão 3D e procedimentos pós-polimerização. Como também, talvez os baixos valores alcançados pelo grupo SLA se devam à diferença de composição química e técnica de impressão com a resina do grupo SLS, assim houve a produção de restaurações provisórias com propriedades diferentes¹.

Dentre os estudos incluídos na revisão, observou-se o uso de diferentes técnicas de impressão entre eles como Processamento digital de luz (Digital Light Processing - DLP)⁴, Estereolitografia (*Stereolithography* - SLA)^{1,4,6}, Modelagem por deposição fundida (*Fused deposition modeling* - FDM)⁴ e Sinterização seletiva a laser (*Selective laser sintering* - SLS)¹. Portanto,

o uso de distintos métodos para manufatura aditiva, tipos de espécimes e ensaios mecânicos dificulta a discussão dos valores de resistência à fratura identificados entre as pesquisas. Pois há uma grande variação numérica por exemplo entre os achados para os espécimes produzidos pela técnica SLA entre os estudos, desde que foi o método de impressão mais prevalente na revisão. Poucos estudos têm comparado as técnicas de impressão para resina impressa 3D⁴, entretanto para confeccionar uma restauração provisória com topografia superficial ideal, estudos que analisem os sistemas contemporâneos de impressão 3D devem ser recomendados.⁶

Em relação à aplicação clínica das resinas impressas 3D para fabricação de restaurações provisórias em substituição das resinas convencionais não se faz possível afirmar com base nos achados desta revisão, por apresentar apenas estudos *in Vitro*. Os resultados devem ser interpretados tendo em conta que os experimentos são limitados aos materiais testados. À vista disso, o ambiente oral é complexo, com cargas não axiais dinâmicas mais elevadas, frequentes mudanças de temperatura, acúmulo de placa e exposição ácida, tais fatores poderiam produzir resultados diferentes⁴. Portanto, muito se precisa ser explorado nesta área para uma utilização mais segura e versátil da técnica da impressão 3D⁴.

Embora, AL-Qahtani et al.⁶ afirmam que a tecnologia de prototipagem rápida 3D para a fabricação de restaurações provisórias em resina é potencialmente aplicável para uso clínico. As propriedades da estereolitografia e sinterização seletiva a laser para materiais de impressão parecem ser adequadas para uso provisório de coroas simples. Porém, recomenda-se cautela quanto à biocompatibilidade, alteração de cor e resistência ao desgaste¹. Para Tahayeri et al.⁸ as resinas impressas 3D têm propriedades mecânicas suficientes para serem adotadas intraoralmente. Devido à elevada resistência à fratura dos espécimes fabricados pelos métodos do DLP e do SLA, essas tecnologias de impressão devem ser adotadas na clínica diárias tal qual o uso das resinas fresadas em CAD-CAM⁴.

As limitações desta revisão se fazem presente quanto ao reduzido número de artigos disponíveis que estudem a resistência mecânica em foco, pela baixa evidência científica dos artigos incluídos, por haver estudo que não forneceu os valores de média dos ensaios laboratoriais, além do detalhamento do processo de impressão e pós-cura, além da composição das resinas impressas 3D, por fim pela reduzida análise de dados comparativos entre as resinas após o envelhecimento.

Novos estudos devem buscar realizar ensaios clínicos que comparem os aspectos

mecânicos da resina 3D com outros tipos de resinas para restaurações e próteses provisórias. Realizando a análise de propriedades críticas como estabilidade de cor, longevidade, resistência ao desgaste, resinas com diferentes composições e técnicas de impressão.

CONCLUSÃO

Os achados da revisão de literatura não são conclusivos, quanto aos aspectos mecânicos das resinas impressas 3D em comparação com as resinas convencionais. As restaurações provisórias impressas 3D parecem representar uma promissora inovação na Odontologia, contudo necessitam de evidências científicas mais robustas em relação à resistência mecânica.

REFERÊNCIAS

1. Simoneti DM, Pereira-Cenci T, dos Santos MBF. Comparison of material properties and biofilm formation in interim single crowns obtained by 3D printing and conventional methods. *J Prosthet Dent*. 2022;127(1):168–72.
2. Myagmar G, Lee JH, Ahn JS, Yeo ISL, Yoon HI, Han JS. Wear of 3D printed and CAD/CAM milled interim resin materials after chewing simulation. *J Adv Prosthodont*. 2021;13(3):144–51.
3. Berli C, Thieringer FM, Sharma N, Muller JA, Dedem P, Fisher J, et al. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *J Prosthet Dent*. 2020;124(6):780–6.
4. Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY. Flexural strength of 3D-printing resin materials for provisional fixed dental prostheses. *Materials (Basel)*. 2020;13(18):3970.
5. Kim N, Kim H, Kim IH, Lee J, Lee KE, Lee HS, et al. Novel 3D printed resin crowns for primary molars: In vitro study of fracture resistance, biaxial flexural strength, and dynamic mechanical analysis. *Children (Basel)*. 2022;9(10):1445.
6. Al-Qahtani AS, Tulbah HI, BinHasan M, Abbasi MS, Ahmed N, Shabid S, et al. Surface properties of polymer resins fabricated with subtractive and additive manufacturing techniques. *Polymers (Basel)*. 2021;13(23):4077.
7. de Paula Lopez V, Tardelli JDC, Botelho AL, Agnelli JAM, dos Reis AC. Mechanical performance of 3-dimensionally printed resins compared with conventional and milled resins for the manufacture of occlusal devices: A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2023.
8. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater*. 2018;34(2):192–200.
9. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012;28(1):3–12.
10. Oliveira JRS, Rodrigues L dos S, Finck NS. O fluxo de trabalho e a aplicação da impressão 3D na odontologia. *REAS*. 2023;23(5):12747.

11. Demathé A, Silva ARS, De Carli JP, Goiato MC, Miyahara GI. Odontologia baseada em evidências: otimizando a prática e a pesquisa. RFO UPF. 2012;17(1):96–100.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse

AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA

Viviane Maria Gonçalves de Figueiredo

Departamento de Prótese e Cirurgia Buco-Facial,
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE),
50670-901, Recife – PE, Brasil

Submetido em 23/05/2025

Aceito em 31/08/2025