

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 26/02/2028.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

CLARISSE MARIA LUIZ SILVA

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E FÍSICO-QUÍMICA DE UMA
RESINA DE IMPRESSÃO 3D: um estudo *in vitro***

Clarisse Maria Luiz Silva

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E FÍSICO-QUÍMICA DE UMA RESINA DE
IMPRESSÃO 3D: um estudo *in vitro***

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Prótese Dentária. Linha de pesquisa: Desempenho de materiais e técnicas em odontologia restauradora.

Orientador: Prof. Dr. João Mauricio Ferraz da Silva

São José dos Campos

2026

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2026]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Silva, Clarisse Maria Luiz

Caracterização mecânica e físico-química de uma resina de impressão 3d : um estudo in vitro / Clarisse Maria Luiz Silva. - São José dos Campos : [s.n.], 2026.

50 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2026.

Orientador: João Mauricio Ferraz Da Silva.

1. Impressão 3D. 2. Resina. 3. Desgaste. I. Silva, João Mauricio Ferraz Da, orient. II. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. IV. Universidade Estadual Paulista (UNESP). V. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa contribui para a compreensão do desempenho biomecânico e superficial de resinas impressas em 3D, auxiliando na avaliação de seu potencial clínico frente a materiais restauradores convencionais e orientando o desenvolvimento e a indicação segura dessas tecnologias na Odontologia.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research contributes to understanding the biomechanical and surface performance of 3D-printed resins, supporting the evaluation of their clinical potential compared with conventional restorative materials and guiding the safe development and application of these technologies in Dentistry.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Assistente Dr. João Maurício Ferraz da Silva (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

São José dos Campos

Prof. Tit. Alexandre Luiz Souto Borges

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

São José dos Campos

Prof. Adjunta Dra. Viviane Maria Gonçalves de Figueredo

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Campus Recife

São José dos Campos, 26 de fevereiro de 2026.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar e prover sempre o necessário para que eu concluísse todas as etapas que me permitiram chegar até aqui.

À minha família, em especial à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão, pelo amor incondicional, pela força e pelo apoio que me permitiram permanecer tanto tempo longe de casa e concluir esta formação. Obrigada por acreditarem em mim ao longo de toda a minha vida. Nada disso seria possível sem vocês.

Ao meu orientador, pelo conhecimento compartilhado, pela confiança, pelo apoio e pela constante disponibilidade sempre que precisei de auxílio, seja na pesquisa ou na clínica. Obrigada por dividir seu saber e por contribuir de forma tão significativa para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Serei eternamente grata e o tenho como uma grande inspiração na Odontologia.

A todos os meus amigos que, de alguma forma, contribuíram para esta caminhada, em especial a Lucas Tadeu, Pollyanna Vieira, Leonardo Sobral, Antonio Tôrres, Larissa Barreto e Luisa Passarelli que ao longo desses dois anos estiveram sempre ao meu lado e me acolheram como família. Foi um prazer aprender com vocês desde o primeiro dia do mestrado e também compartilhar momentos da vida fora da UNESP. Cada experiência vivida juntos tornou o percurso da pós-graduação mais leve e prazeroso.

A todos os professores e técnicos do ICT–UNESP de São José dos Campos/SP, que contribuíram de forma essencial para a minha formação, compartilhando conhecimentos no ensino, na pesquisa e na clínica, além de estarem sempre disponíveis para esclarecer dúvidas ao longo deste percurso.

Ao professor Alexandre Borges, por ter auxiliado tanto o nosso grupo a obter os materiais necessários para este trabalho, por ter me ensinado tanto, me dado

oportunidades incríveis como a de apresentar um trabalho em congresso internacional e também por ter aceitado compor a banca examinadora

À professora Viviane Figueiredo, por ter aceitado compor a banca examinadora desta dissertação de mestrado, por me apresentar o Programa de Pós-Graduação da UNESP e por me incentivar e auxiliar nos estudos para o processo seletivo do mestrado no CASB. Sua forma de ensinar despertou em mim a vontade de fazer pesquisa e pela área de Prótese Dentária.

A todos os meus colegas da Pós-Graduação, em especial àqueles que ingressaram comigo no mestrado e que, em vários momentos, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao ICT–UNESP de São José dos Campos, pela disponibilização de toda a infraestrutura e dos equipamentos utilizados durante a realização desta pesquisa, bem como pela oportunidade de cursar a pós-graduação em uma universidade de referência no Brasil em ensino e pesquisa.

EPÍGRAFE

“Enquanto eu tiver perguntas e não houver resposta, continuarei a escrever”

- Clarice Lispector

RESUMO

Silva CML. Caracterização físico-mecânica de uma resina de impressão 3d: um estudo in vitro [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2026.

O método de manufatura por adição tem sido cada vez mais estudado, recentemente foram desenvolvidas técnicas mais rápidas que conferem ao material uma alta qualidade da impressão e um custo benefício favorável. O objetivo deste estudo é de avaliar o comportamento biomecânico e propriedades superficiais de uma resina de impressão 3D em comparando com um compósito fresado em CAD/CAM. Foram confeccionadas amostras ($n=60$) em forma de disco com diâmetro de 12 mm e altura de 2 mm e barras ($n=30$; $n=10$) com dimensões 40x15x2 mm e 25x2x2mm respectivamente que foram desenhadas usando software de desenho auxiliado por computador CAD, e divididas em 2 grupos de Resina fresada (RF), e resina para impressão 3D (RI). Após confecção dos corpos foi feita a avaliação da rugosidade superficial através de um rugosímetro de contato, avaliando através do parâmetro Ra (rugosidade média) e Rz. Teste de microdureza de Knoop os discos foram submetidos a 3 indentações um testador de microdureza digital. A avaliação do módulo elástico foi feita em barras através da técnica de excitação por impulso. Para o teste de flexão, as amostras em barra foram fraturadas utilizando uma célula de carga de 100 kgF em uma máquina de ensaios universal (Emic DL – 1000) e a simulação de desgaste por fadiga foi realizada em cicladora mecânica com deslizamento (Biocycle V 2). Imagens de MEV e EDS foram realizadas através do MEV Inspect S50 em magnificação 5000x. A análise dos resultados foram feitas através do software estatístico Jamovi, utilizando Teste t e teste de Mann-Whitney. Para rugosidade e análise do desgaste os grupos não apresentaram diferença estatística ($p=0,210$) e ($p=0,237$) respectivamente, para os demais testes os grupos tiveram diferença estatística significativa com resultados superiores do grupo RF: Microdureza ($p<0,001$); Módulo elasticidade ($p<0,001$); Resistência a flexão ($p<0,001$).

Palavras-chave: Impressão 3D; Resina; Desgaste.

ABSTRACT

Silva CML. *Physicomechanical Characterization of a 3D Printing Resin: An In Vitro Study [dissertation]*. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology; 2026.

Additive manufacturing has been increasingly studied, and in recent years faster techniques have been developed that provide high print quality and a favorable cost–benefit ratio. The aim of this study was to evaluate the biomechanical behavior and surface properties of a 3D printing resin compared with a CAD/CAM-milled composite. Samples ($n = 60$) were fabricated in the form of discs with a diameter of 12 mm and a height of 2 mm, and bars ($n = 30$; $n = 10$) with dimensions of $40 \times 15 \times 2$ mm and $25 \times 2 \times 2$ mm, respectively. Specimens were designed using computer-aided design (CAD) software and divided into two groups: milled resin (MR) and 3D printing resin (PR). After specimen fabrication, surface roughness was evaluated using a contact profilometer based on the R_a (average roughness) and R_z parameters. For the Knoop microhardness test, the discs were subjected to three indentations using a digital microhardness tester. Elastic modulus was evaluated in bar specimens using the impulse excitation technique. For the flexural test, bar specimens were fractured using a 100 kgf load cell in a universal testing machine (Emic DL-1000), and fatigue wear simulation was performed using a mechanical sliding cyclor (Biocycle V2). SEM and EDS images were obtained using an Inspect S50 SEM at 5000 $\times$ magnification. Statistical analysis was performed using Jamovi software, applying the t test and the Mann–Whitney test. For surface roughness and wear analysis, no statistically significant differences were observed between groups ($p = 0.210$ and $p = 0.237$, respectively). For the remaining tests, statistically significant differences were observed, with superior results for the MR group: microhardness ($p < 0.001$), elastic modulus ($p < 0.001$), and flexural strength ($p < 0.001$).

Keywords: 3D printing; Resin; Wear.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Materiais Restauradores	14
2.1.1 Resinas Acrílicas	14
2.1.2 Resinas CAD/CAM (Fresadas).....	15
2.1.3 Resinas de Impressão 3D	16
2.1.3.1 Histórico	16
2.1.3.2 Tecnologias de impressão 3D	17
3 PROPOSIÇÃO	19
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1.1 Rugosidade superficial	22
4.1.2 Microdureza	22
4.1.3 Módulo de elasticidade	23
4.1.4 Resistencia flexural	24
4.1.5 Microscopia Eletrônica de Varredura e EDS	25
4.1.6 Simulação de Desgaste.....	25
4.1.7 Análise do desgaste	26
4.1.8 FT-IR (Espectroscopia De Infravermelho Com Transformada De Fourier)	28
5 RESULTADOS.....	29
5.1 Rugosidade	29
5.2 Microdureza	29
5.3 Resistência Flexural	30
5.4 Módulo Elástico	32
5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	33
5.6 Espectroscopia por Dispersão de Energia.....	33
5.7 FT-IR (Espectroscopia De Infravermelho Com Transformada De Fourier)	36

5.8 Alteração de cor	37
5.9 Análise do Desgaste.....	38
6 DISCUSSÃO	40
7 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

O uso de tecnologias de planejamento, design e fabricação digitais têm sido o padrão comum na tecnologia de laboratório odontológico há muitos anos. Estas tecnologias digitais promovem alta precisão e exatidão, previsibilidade, eficiência, custo-efetividade além de ampliar a disponibilidade de materiais restauradores e protéticos oferecendo melhores propriedades físicas, ópticas e biológicas do que aquelas fabricadas convencionalmente como por exemplo as restaurações diretas de resina composta. (Blatz, Conejo; 2019).

Neste contexto dos tratamentos restauradores, existem as manufaturas subtrativas em sistema CAD/CAM (*Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*) ou manufaturas aditivas (Impressão 3D) que estão sendo usados para fabricação de resinas compostas e cerâmicas. Restaurações indiretas de resinas compostas fabricadas a partir desse processo digital apresentam vantagens relacionadas propriedades estéticas, de durabilidade e de biocompatibilidade do material (Ide et al., 2017).

O CAD/CAM é utilizado na odontologia principalmente no processo de fabricação subtrativa. Que acontece geralmente através da usinagem controlada numericamente por computador, em que são usadas ferramentas acionadas por energia, como serras, tornos, fresadoras e furadeiras, para cortar mecanicamente o material e obter o formato que se deseja sendo todas as etapas controladas por software. Assim, todo o processo inicia-se a partir de um bloco do material e a máquina corta as partes que não serão utilizadas. No entanto, essa forma de processamento é muito dispendiosa, e ao final do processo mais material é dispensado do que utilizado. (Noort, 2011;Daher, 2022.)

Em contrapartida às técnicas de fabricação subtrativas, no método de manufatura aditiva (impressão 3D), a quantidade de material dispensado é menor e é possível utilizar uma grande variedade de matérias-primas para fabricar estruturas, devido a uma diversidade de métodos usando princípios aditivos e de estratificação. A maioria das matérias-primas usadas no método aditivo para fins odontológicos e médicos podem ser agrupados em combinações de materiais aglutinantes/em pó, incluindo polímeros (resinas e termoplásticos), cerâmicas e metais. (Barazanchi et al.,

2016)

Os materiais poliméricos apresentam menor rigidez em comparação aos cerâmicos; contudo, destacam-se por sua maior resistência ao desgaste em restaurações parciais. Diferenciam-se ainda pelo comportamento biomecânico favorável em preparos minimamente invasivos, nos quais a preservação do tecido dentário e a baixa abrasividade ao dente antagonista são requisitos essenciais na escolha de um material restaurador. (Zimmermann et al., 2018; Lauvahutanon et al., 2014). As evidências atuais sugerem que os sistemas de impressão 3D apresentam maior precisão em comparação aos sistemas de fresagem na confecção de próteses, uma vez que possibilitam a produção de geometrias complexas, como paredes com cavidades côncavas, de difícil execução por técnicas subtrativas. Além disso, a manufatura aditiva reduz significativamente o desperdício de material que comumente ocorre da usinagem de blocos e discos volumosos. (Kihara et al., 2021)

O método de manufatura por adição tem sido cada vez mais estudado, recentemente foram desenvolvidas técnicas mais rápidas que conferem ao material uma alta qualidade da impressão e um custo benefício favorável. Ainda, estão sendo produzidos materiais poliméricos para impressão 3D com uma gama mais ampla de propriedades. Dessa forma, esses avanços mudam a forma como os produtos são fabricados e como eles estão sendo usados pelos consumidores (Dizon et al., 2017).

Apesar dos avanços recentes, ainda há escassez principalmente de estudos clínicos, mas também de estudos laboratoriais que investiguem a durabilidade de materiais reabilitadores obtidos por impressão 3D em condições orais. Além disso, a literatura precisa de ensaios in vitro que avaliem o desempenho dessas resinas frente ao desgaste por fadiga e à consequente perda de estrutura (Prauze et al., 2023). O resultado da fadiga induzida nesses materiais é um parâmetro essencial para a seleção de materiais odontológicos, uma vez que cada material responde de maneira distinta a tensões e deformações cíclicas. Assim, a realização de ensaios com carga cíclica e estática é indispensável para a análise da resistência à fratura e desgaste, fornecendo uma compreensão mais precisa da durabilidade de restaurações indiretas (Abad-Coronel et al., 2025).

Portanto, diante do exposto, apesar da crescente adoção de resinas impressas em 3D na odontologia restauradora, ainda há escassez de evidências

quanto às suas propriedades mecânicas, químicas e ópticas em comparação a materiais convencionais. Nesse sentido, o presente estudo visa avaliar o comportamento mecânico de uma resina de impressão 3D quanto a essas propriedades, comparando com materiais tradicionais como resina fresada em CAD/CAM.

7 CONCLUSÃO

Portanto, diante das limitações deste trabalho, conclui-se que:

- Os resultados demonstraram que a resina composta impressa em 3D e o compósito nanohíbrido fresado apresentaram rugosidade superficial semelhante e clinicamente aceitável após acabamento e polimento
- O material fresado exibiu desempenho mecânico superior, com maiores valores de microdureza, resistência à flexão, módulo elástico e estabilidade de cor
- A resina impressa apresentou grau de conversão compatível com materiais provisórios e atendeu aos requisitos mínimos para resistência à flexão, porém com propriedades mecânicas inferiores ao grupo fresado.
- Ambos materiais foram semelhantes quando submetidos a simulação de desgaste por fadiga cíclica.

REFERÊNCIAS

Abad-Coronel C, Freire Bonilla C, Vidal S, Rosero F, Encalada Abad C, Mena Córdova N, et al. Evaluating a Novel 3D-Printed Resin for Dental Restorations: Fracture Resistance of Restorations Fabricated by Digital Press Stereolithography. *Polymers*. 2025 Aug;17(17):2322. doi:10.3390/polym17172322

Abdelfattah MY, Al Humayyani N, Alwthinani FK, Alzahrani AH, Alotaibi AO, Yousef M, et al. In vitro evaluation of the mechanical and optical properties of 3D printed vs CAD/CAM milled denture teeth materials. *Saudi Dent J*. 2024;36(9):1227-1232. doi:10.1016/j.sdentj.2024.07.004

Adawi HA, Al Mialeem MM, Al Ahmari NM, et al. Assessment of Color Stainability of Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) Ceramic Materials After Hot and Cold Coffee Immersion at Different Time Intervals. *Med Sci Monit*. 2021;27:e932745. Published 2021 Oct 3. doi:10.12659/MSM.932745

Aimar PJ, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, et al. 3D-printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties. *Polymers (Basel)*. 2022;14(13):2691. doi:10.3390/polym14132691.

Alshamrani AA, Raju R, Ellakwa A. Effect of Printing Layer Thickness and Postprinting Conditions on the Flexural Strength and Hardness of a 3D-Printed Resin. *Biomed Res Int*. 2022;2022:8353137. Published 2022 Feb 21. doi:10.1155/2022/8353137

Alt V, Behr M, Neumann HG, Smeets R, Steinau HU, Mittelmeier W. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dent Mater*. 2011;27(4):339-347. doi:10.1016/j.dental.2010.11.013

Araújo LV, de Siqueira FSF, de Macedo RFC, et al. Analysis of Mechanical Properties and Printing Orientation Influence of Composite Resin for 3D Printing Compared to Conventional Resin. *Materials (Basel)*. 2024;17(22):5626. Published 2024 Nov 18. doi:10.3390/ma17225626

Atria PJ, Bordin D, Marti F, Nayak VV, Conejo J, Benalcázar Jalkh E, et al. 3D-printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties. *J Esthet Restor Dent*. 2022;34(5):804-815. doi:10.1111/jerd.12888

Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont*. 2017 Feb;26(2):156-163. doi: 10.1111/jopr.12510. Epub 2016 Sep 23. PMID: 27662423.

Bergamo ETP, Campos TMB, Piza MMT, Gutierrez E, Lopes ACO, Witek L, et al. Temporary materials used in prosthodontics: The effect of composition, fabrication mode, and aging on mechanical properties. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022 Sep; 133:105333. doi: 10.1016/j.jmbbm.2022.105333. Epub 2022 Jun 30. PMID: 5839630.

Bettanapalya VS, Ramakrishnaiah R, Al-Kheraif AA, Divakar DD, Matinlinna JP, Alqahtani A. Mechanical and physical properties of durable prosthetic restorations printed using 3D technology in comparison with hybrid ceramics and milled restorations: a systematic review. *Polymers (Basel).* 2021;13(22):3896. doi:10.3390/polym13223896.

Blatz MB, Conejo J. The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin North Am.* 2019 Apr;63(2):175-197. doi: 10.1016/j.cden.2018.11.002. PMID: 30825985

Bueno MG, Tribst JPM, Borges ALS. Canine guidance reconstruction with ceramic or composite resin: A 3D finite element analysis and in vitro wear study. *J Prosthet Dent.* 2022 May;127(5):765.e1-765.e9. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.01.020. Epub 2022 Mar 12. PMID: 35287971.

Chen, Y.; Wei, J. Application of 3D Printing Technology in Dentistry: A Review. *Polymers* 2025, 17, 886. <https://doi.org/10.3390/polym17070886>

Daher R, Ardu S, di Bella E, Krejci I, Duc O. Efficiency of 3D-printed composite resin restorations compared with subtractive materials: Evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production. *J Prosthet Dent.* 2022 Nov 1:S0022-3913(22)00481-4. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.08.001. Epub ahead of print. PMID: 36333176

de Lima ALX, de Souza PH, Amorim DMG, Caldas SGFR, Galvão MR. Avaliação do grau de conversão de resinas compostas fotoativadas em diferentes tempos e potências. *Rev. da Fac. de Odontologia, UPF [Internet].* 2016 Dez; 21(2). doi: 10.5335/rfo.v21i2.6132.

Dizon, John Ryan C. et al. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive manufacturing*, v. 20, p. 44-67, 2018.

Ellakany, P.; Fouda, S.M.; Mahrous, A.A.; AlGhamdi, M.A.; Aly, N.M. Influence of CAD/CAM Milling and 3D-Printing Fabrication Methods on the Mechanical Properties of 3-Unit Interim Fixed Dental Prosthesis after ThermoMechanical Aging Process. *Polymers* 2022, 14, 4103. <https://doi.org/10.3390/polym14194103>

Elmoselhy HAS, Hassanien OES, Haridy MF, El Baz MAS, Saber S. Two-year clinical performance of indirect restorations fabricated from CAD/CAM nano-hybrid composite versus lithium disilicate in mutilated vital teeth: a randomized controlled trial. *BMC Oral Health.* 2024 Jan;24(1):101. doi:10.1186/s12903-023-03847-6

Figueiredo VMG de, Batista AUD, Neto DR da S. Polimentos de aplicação clínica para coroas temporárias: Avaliação da rugosidade de superfície por meio de técnicas mecânicas e química sobre resinas acrílicas de polimerização química. *Arq bras odontol* [Internet]. 4º de maio de 2017;10(2):34-2.

Gul BC, Demirci F, Baki N, Bahce E, Özcan M. Mechanical analysis of 3D printed dental restorations manufactured using different resins and validation with FEM analysis. *BMC Oral Health*. 2025;25:131. doi:10.1186/s12903-024-05384-2

Hwangbo NK, Nam NE, Choi JH, Kim JE. *Effects of the washing time and washing solution on the biocompatibility and mechanical properties of 3D printed dental resin materials*. *Polymers (Basel)*. 2021;13(24):4410. doi:10.3390/polym13244410.

Ide Y, Nayar S, Logan H, Gallagher B, Wolfaardt J. The effect of the angle of acuteness of additive manufactured models and the direction of printing on the dimensional fidelity: clinical implications. *Odontology*. 2017 Jan;105(1):108-115. doi: 10.1007/s10266-016-0239-4. Epub 2016 Mar 19. PMID: 26995273.

Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, et al. Physical and mechanical properties of 3D-printed provisional crowns and fixed dental prosthesis resins compared to CAD/CAM milled and conventional provisional resins: uma revisão sistemática e meta-análise. *Polymers (Basel)*. 2022;14(13):2691. doi:10.3390/polym14132691.

Katheng A, Prawatvatchara W, Chaamornsap P, Sornsuan T, Lekatana H, Palasuk J. *Comparison of mechanical properties of different 3D printing technologies*. *Sci Rep*. 2025;15(1):18998. doi:10.1038/s41598-025-03632-1.

Karaoğluoğlu S, Aydın N, Oktay EA, Ersöz B. Comparison of the Surface Properties of 3D-printed Permanent Restorative Resins and Resin-based CAD/CAM Blocks. *Oper Dent*. 2023;48(5):588-598. doi:10.2341/23-006-L

Kihara H, Sugawara S, Yokota J, Takafuji K, Fukazawa S, Tamada A, et al. Applications of three-dimensional printers in prosthetic dentistry. *J Oral Sci*. 2021 Jun;63(3):212-216. doi:10.2334/josnurd.21-0072

Kim D, Shim JS, Lee D, Shin SH, Nam NE, Park KH, et al. Effects of post-curing time on the mechanical and color properties of three-dimensional printed crown and bridge materials. *Polymers (Basel)*. 2020 Nov 23;12(11):2762. doi: 10.3390/polym12112762. PMID: 33238528; PMCID: PMC7700600.

Lambert H, Durand JC, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont*. 2017 Nov;9(6):486-495. doi:10.4047/jap.2017.9.6.486

Lauvahutanon S., Takahashi H., Shiozawa M., Iwasaki N., Asakawa Y., Oki M., Finger W.J., Arksornnukit M. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent. Mater. J*. 2014;33:705–710. doi: 10.4012/dmj.2014-208.

Lauvahutanon S., Takahashi H., Shiozawa M., Iwasaki N., Asakawa Y., Oki M., Finger W.J., Arksornnukit M. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent. Mater. J.* 2014;33:705–710. doi: 10.4012/dmj.2014-208.

Mahran GA, El-Banna A, El-Korashy DI. *Evaluation of a 3D-printed nanohybrid resin composite versus a milled resin composite for flexural strength, wear and color stability.* *BMC Oral Health.* 2025;25:572. doi:10.1186/s12903-025-05861-2.

Myagmar G, Lee JH, Ahn JS, Yeo IL, Yoon HI, Han JS. Wear of 3D printed and CAD/CAM milled interim resin materials after chewing simulation. *J Adv Prosthodont.* 2021 Jun;13(3):144-151. doi: 10.4047/jap.2021.13.3.144. Epub 2021 Jun 25. PMID: 34234924; PMCID: PMC8250192.

Neves AD, Discacciati JAC, Oréface RL, Jansen WC. Correlação entre grau de conversão, microdureza e conteúdo inorgânico em compósitos. *Pesqui Odontol Bras* 2002;16:349–54. doi: 10.1590/S1517-74912002000400012.

Pantea M, Ciocoiu RC, Greabu M, Ripszky Totan A, Imre M, Țâncu AMC, et al. Compressive and flexural strength of 3D-printed and conventional resins designated for interim fixed dental prostheses: an in vitro comparison. *Materials.* 2022 Sep;15(9):3075. doi:10.3390/ma15093075

Pituru SM, Greabu M, Totan A, Imre M, Pantea M, Spinu T, et al. A review on the biocompatibility of PMMA-based dental materials for interim prosthetic restorations with a glimpse into their modern manufacturing techniques. *Materials.* 2020 Jun;13(6):1430. doi:10.3390/ma13061430.

Prause E, Malgaj T, Kocjan A, Beuer F, Hey J, Jevnikar P, Schmidt F. Mechanical properties of 3D-printed and milled composite resins for definitive restorations: An in vitro comparison of initial strength and fatigue behavior. *J Esthet Restor Dent.* 2024 Feb;36(2):391-401. doi: 10.1111/jerd.13132. Epub 2023 Sep 7. PMID: 37680013.

Prpić V, Sailer I, Stawarczyk B, Luthy H, Hammerle CH. *Comparison of mechanical properties of 3D-printed, CAD/CAM, and conventional denture base materials.* *J Prosthodont.* 2020;29(6):524–528. doi:10.1111/jopr.13046.

Rayyan MM, Mahmoud M, El-Mowafy O, Tamimi F. Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *J Prosthet Dent.* 2015;114(4):414-419. doi:10.1016/j.prosdent.2015.03.007

Revilla-León M, Özcan M. *Digital workflow in dentistry: A review of current applications and future perspectives.* *J Prosthodont.* 2019;28(8):e379–e387. doi:10.1111/jopr.13046.

Rubayo DD, Phasuk K, Vickery JM, Morton D, Lin WS. Influences of build angle on the accuracy, printing time, and material consumption of additively manufactured surgical templates. *J Prosthet Dent.* 2021;126(1):124–130. doi:10.1016/j.prosdent.2020.05.027

Scotti CK, Velo MMAC, Rizzante FAP, Nascimento TRL, Mondelli RFL, Bombonatti JFS. Physical and surface properties of a 3D-printed composite resin for a digital workflow. *J Prosthet Dent*. 2020;124(5):614.e1-614.e5. doi:10.1016/j.prosdent.2020.03.029.

Seyidaliyeva A, Rues S, Evagorou Z, Hassel AJ, Rammelsberg P, Zenthöfer A. Color stability of polymer-infiltrated-ceramics compared with lithium disilicate ceramics and composite. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(1):43-50. doi:10.1111/jerd.12525

Takamizawa T, Barkmeier WW, Tsujimoto A, Scheidel D, Erickson RL, Latta MA, et al. Mechanical Properties and Simulated Wear of Provisional Resin Materials. *Oper Dent*. 2015 Nov;40(6):603-613. doi:10.2341/14-132-L.1

Tanaka LEB, Rodrigues CS, Grangeiro MTV, Campos TMB, Melo RM. Characterization of 3D printed composite for final dental restorations. *Clin Oral Investig*. 2024;28(11):5117-5130. doi:10.1007/s00784-024-06003-8

Tayeb HK, Silikas N, Alhaddad AJ, Satterthwaite J. Flexural Strength and Hardness Analysis of 3D-Printed vs. Milled Resin Composites Indicated for Definitive Crowns. *J Funct Biomater*. 2025;16(12):468. Published 2025 Dec 18. doi:10.3390/jfb16120468

Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012 Jan;28(1):3-12. doi: 10.1016/j.dental.2011.10.014. Epub 2011 Nov 26. PMID: 22119539.

Zimmermann M., Ender A., Egli G., Özcan M., Mehl A. Fracture load of CAD/CAM-fabricated and 3D-printed composite crowns as a function of material thickness. *Clin. Oral Investig*. 2018;23:2777–2784. doi: 10.1007/s00784-018-2717-2.