

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 25/02/2027.



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

ANTONIO JOSÉ TÔRRES NETO

**RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE UMA RESINA DE
LONGA DURAÇÃO PARA IMPRESSÃO 3D: efeitos do
tratamento de superfície e do antagonista**

ANTONIO JOSÉ TÔRRES NETO

**RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE UMA RESINA DE LONGA DURAÇÃO PARA
IMPRESSÃO 3D: efeitos do tratamento de superfície e do antagonista**

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 do 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: Profa. Dra. Assoc. Nathália de Carvalho Ramos Ribeiro.

Coorientadora: Prof. Dra. Rossana Reim Del’Gaudio Pignataro.

São José dos Campos

2025

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2025]. 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).

Tôrres Neto, Antonio José

Resistência ao desgaste de uma resina de longa duração para impressão 3D: Efeitos do tratamento de superfície e do antagonista. / Antonio José Tôrres Neto. - São José dos Campos : [s.n.], 2025.
68 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, 2025.

Orientadora: Nathália de Carvalho Ribeiro

Coorientadora: Rossana Reim Pignataro

1. Impressão Tridimensional. 2. Resina composta. 3. Desgaste de restauração dentária. I. Ribeiro, Nathália de Carvalho, orient. II. Pignataro, Rossana Reim, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. V. Universidade Estadual Paulista (UNESP). VI. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Avaliar a resistência ao desgaste de uma resina para impressão 3D de longa duração recentemente introduzida no mercado odontológico, frente a simulação de desgaste sob diferentes antagonistas, analisando como esse material se comportaria em boca, sob diferentes situações clínicas em relação aos antagonistas.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

To evaluate the wear resistance of a recently introduced long-lasting 3D printing resin for dental use, under simulated wear against different antagonists, analyzing how this material would perform in the oral environment under various clinical situations involving different antagonists.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Assoc. Nathália de Carvalho Ramos Ribeiro (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de ciência e tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dra. Assoc. Camila da Silva Rodrigues

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de ciência e tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dra. Larissa Márcia Martins Alves

Universidade de São Paulo

Faculdade de Odontologia de Bauru

São José dos Campos, 25 de fevereiro de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha avó, **Maria Damiana**, que mesmo em outro plano, representa o maior exemplo de força, dedicação, alegria e amor que motivam a minha vida, é por você.

Aos meus pais, **Soraia e Romoaldo**, por sempre fazerem o possível e o impossível para eu lançar grandes voos, que mesmo na distância eu consigo sentir o quão eu sou amado e apoiado por vocês, obrigado por tudo, amo vocês.

AGRADECIMENTOS

À **Prof. Dra. Assoc. Nathalia de Carvalho Ramos Ribeiro** e a **Prof. Dra. Rossana Reim Del’Gaudio Pignataro** por todo o trabalho que vocês desenvolveram nesse trabalho e por contribuírem na minha formação. Muito obrigado!

Agradeço à banca examinadora, **Prof. Dra. Larissa Márcia Martins Alves** e **Prof. Dra. Assoc. Camila da Silva Rodrigues** por aceitarem esse convite. É uma honra poder contar com profissionais tão excelentes, que comecei a acompanhar e pude observar tamanho cuidado e dedicação no que se propõe a fazer e isso me encanta.

A todos os **professores e professoras** que contribuíram para a minha formação durante o mestrado e a graduação, meus sinceros agradecimentos.

Agradeço aos **servidores e funcionários** do programa de Pós-graduação por sempre estarem prontos para ajudar nas grandes demandas que o curso exige.

Agradeço à **Universidade Estadual Paulista**, em especial ao **Programa de Pós-Graduação do Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos** pela oportunidade de aprender tanto e ser uma pessoa melhor, através do conhecimento compartilhado de pontuais profissionais que estão presentes nessa instituição.

Agradeço a todos os amigos que consegui ter sempre por perto em São José dos Campos, aos amigos da República Sem Saída e agregados, **Caíque Casarini, Clarisse Maria, Enzo Milesi, Felipe Soares, Francisco Assis, Gustavo Antunes, Igor Emanuel, Larissa Barreto, Rodrigo Castro, Rodrigo Klein e Stefany Santana**, obrigado por todo apoio nesses dois anos, garanto que sem vocês tudo teria sido mais difícil, todas as vivências foram de grande valor e por isso eu amo muito vocês.

Agradeço a todos os amigos que a Pós-graduação me trouxe, aqueles que direta ou indiretamente me apoiaram, em especial ao **Caíque Casarini** por ter me ajudado desde o início dessa jornada, **Stefany Santana** minha dupla por toda essa jornada, **Larissa Barreto** por ter vindo somar esse apoio, obrigado aos três por ter dividido todas as angústias e risadas tornando a caminhada mais tranquila.

Obrigado à **Bego** e a **Wilcos**, por fornecer os materiais necessários para o desenvolvimento do nosso trabalho. Vocês contribuíram fortemente para essa pesquisa científica.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pela concessão da bolsa de mestrado, através do processo nº 88887.903018/2023-00 , no período de 01/08/2023 a 26/02/2025, investindo assim no meu futuro e na pesquisa.

À minha família, por todo suporte nesta caminhada, sem vocês não teria sido possível escrever estas linhas agora. Obrigado, **Soraia Alves, Romoaldo Torres, Saymon Torres, Raul Torres, Romoaldo Junior, Davi Torres, Loreнна Raíssa, Maria Júlia, Maria Clara Torres, Helena Torres, Edna Lúcia, Madelone Alves, Lúcia Leite** pelo apoio incondicional. Aprendi com vocês o que significa a felicidade e o amor. Sem dúvida, esta conquista é de vocês.

E finalmente, obrigada **Deus**, por sempre estar cercado de pessoas maravilhosas que me apoiam. Agradeço a todos que estiveram comigo nesse processo, desde aqueles que compartilharam conhecimento até aqueles que, de forma silenciosa, ofereceram apoio e encorajamento. Se a ciência é um campo de descobertas, ela também é um espaço de superação, onde cada novo aprendizado nos permite respirar um pouco mais fundo e seguir adiante.

" I try to live in black and white, but I'm so blue". Billie Eilish

RESUMO

Torres Neto, A. J. Resistência ao desgaste de uma resina de longa duração para impressão 3D: Efeitos do tratamento de superfície e do antagonista. [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2025.

O objetivo desse estudo foi avaliar a resistência ao desgaste sob diferentes tratamentos de superfície de uma resina de longa duração frente a diferentes antagonistas. Foram fabricados discos ($n=84$) e barras ($n=3$) da resina para impressão 3D (Varseo Smile Crown®), modelados no Rhinoceros® versão 7. O desenho foi processado no software da impressora (Bego Varseo XS) para a fabricação, seguindo um padrão pré-definido. As amostras impressas foram limpas, secas e fotopolimerizadas. A pós-cura ocorreu em 2 ciclos de 90 segundos. Para a análise de resistência ao desgaste os espécimes em disco foram divididos em dois grupos de acordo com o tratamento de superfície: polimento e glaze ($n=40$). Na sequência cada grupo foi subdividido de acordo com o antagonista ($n=10$): esteatita, resina de longa duração, resina composta e uma vitrocerâmica reforçada por leucita, para o desgaste, com os seguintes parâmetros: 50 N, 1,7 Hz, 6×10^5 , deslocamento de 3mm, 37°C, imersos em água destilada. Os espécimes preparados foram incluídos em resina acrílica, e a simulação de desgaste foi realizada em uma cicladora mecânica com sliding (Biocycle V 2). A análise do desgaste foi realizada através de um perfilômetro de contato (KLA-Tencor P7), 50 $\mu\text{m/s}$, 200 Hz e 327 $\mu\text{m}/0,1953\text{A}$. O desgaste dos antagonistas foi analisado através do estereomicroscópio óptico (Stereo Discovery V20). O FT-IR foi realizado no equipamento Specac (Specac Ltd.). O TGA foi realizado no equipamento (STA 449 F3 Jupiter), resina triturada, 40 mg da resina em pó, fluxo de ar 75ml min^{-1} , temperatura de 25°C até 700°C - taxa de $10^\circ\text{C min}^{-1}$. A rugosidade foi avaliada ($n=80$) antes e após a simulação de desgaste. O módulo de elasticidade ($n=3$) e a microdureza Vickers ($n=20$) foram analisados antes do desgaste. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio de ANOVA e testes de Tukey. Para o desgaste, diferenças significativas foram encontradas entre os antagonistas e para o tratamento com glaze ($p=0,001$). No desgaste dos antagonistas, observou-se diferenças significantes entre eles e o tratamento com glaze ($p=0,006$). A rugosidade superficial da resina impressa em 3D apresentou diferenças significativas antes e após o desgaste, tanto no polimento quanto no glaze ($p<0,05$). A microdureza Vickers da resina foi reportada com uma média de 26,01 HV e o módulo de elasticidade em 4,02 GPa. FT-IR mostrou a conversão total da resina polimerizada e envelhecida, mas a resina envelhecida apresentou picos indicando a presença de água devido ao envelhecimento hidrotérmico. A análise termogravimétrica (TGA) indicou uma massa residual de 33,24% de carga inorgânica. A resina em estudo apresenta resistência ao desgaste adequada para uso a longo prazo, sendo essa resistência influenciada pelo material antagonista. A aplicação da camada de glaze sobre a resina aumentou a rugosidade superficial média do material, mas melhora a resistência ao desgaste.

Palavras-chave: Impressão Tridimensional; Resina composta; Desgaste de restauração dentária.

ABSTRACT

Torres Neto AJ. *Wear resistance of a long-life resin for 3D printing: Effects of surface treatment and antagonist. [dissetation].* São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2025.

The objective of this study was to evaluate the wear resistance of a long-term 3D-printed resin under different surface treatments and against various antagonists. Discs ($n=84$) and bars ($n=3$) were fabricated from a 3D-printable resin (Varseo Smile Crown®), designed using Rhinoceros® version 7. The design was processed in the proprietary software of the printer (Bego Varseo XS) and manufactured following a predefined protocol. The printed samples were cleaned, dried, and photopolymerized. Post-curing was carried out in two cycles of 90 seconds each. For the wear resistance analysis, disc-shaped specimens were divided into two groups based on surface treatment: polishing and glaze ($n=40$ each). Subsequently, each group was subdivided according to the antagonist material ($n=10$ per subgroup): steatite, long-term resin, composite resin, and a leucite-reinforced glass-ceramic. The wear simulation was performed under the following parameters: 50 N load, 1.7 Hz frequency, 6×10^5 cycles, 3 mm displacement, 37°C, immersed in distilled water. The specimens were embedded in acrylic resin, and the wear simulation was conducted using a sliding-type mechanical chewing simulator (Biocycle V2). The wear loss was assessed using a contact profilometer (KLA-Tencor P7) at a scan rate of 50 $\mu\text{m/s}$, 200 Hz, and 327 $\mu\text{m}/0.1953 \text{ \AA}$. Antagonist wear was analyzed via optical stereomicroscopy (Stereo Discovery V20). FT-IR analysis was performed using the Specac system (Specac Ltd.), and thermogravimetric analysis (TGA) was conducted using the STA 449 F3 Jupiter system with ground resin samples (40 mg), under an airflow of 75 mL/min, from 25°C to 700°C at a heating rate of 10°C/min. Surface roughness ($n=80$) was evaluated before and after the wear simulation. Elastic modulus ($n=3$) and Vickers microhardness ($n=20$) were measured prior to wear testing. Statistical analysis was conducted using ANOVA and Tukey's post-hoc test. For wear, significant differences were observed among antagonist materials and with the glaze treatment ($p=0.001$). Significant differences were also found in antagonist wear, particularly associated with the glaze treatment ($p=0.006$). The roughness of the 3D-printed resin showed significant changes before and after wear, in both polished and glazed conditions ($p<0.05$). The Vickers microhardness of the resin averaged 26.01 HV, and the elastic modulus was 4.02 GPa. FT-IR analysis confirmed full polymerization of both freshly cured and aged resins; however, the aged resin exhibited peaks indicative of water absorption due to hydrothermal aging. Thermogravimetric analysis revealed a residual mass of 33.24%, corresponding to the inorganic filler content. The tested resin demonstrated adequate wear resistance for long-term use, which was influenced by the type of antagonist. Although the glaze layer increased the surface roughness of the resin, it improved its wear resistance.

Keywords: Printing, Three-Dimensional; Composites resins; Dental restoration wear.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1 Fluxo de trabalho digital	9
2.2 Manufatura Aditiva/ Impressão 3D	11
2.3 Técnicas de impressão	11
2.4 Parâmetros de impressão	13
2.5 Materiais híbridos e resinas de impressão 3D	14
2.6 Desgaste frente a um antagonista	16
3.PROPOSIÇÃO	18
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1 Confeção das amostras	20
4.2 Simulação do desgaste.....	22
4.3 Análise do desgaste	23
4.4 Análise de Superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). 24	
4.5 FTI-R (ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER)	24
4.6 Análise Termogravimétrica (TGA).....	25
4.7 Rugosidade	25
4.8 Microdureza	26
4.9 Módulo de elasticidade	26
4.10 Análise estatística	27
5. RESULTADOS.....	28
5.1 Avaliação do desgaste	28
5.2 Avaliação da perda de volume dos antagonistas	30
5.3 Análise de Superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). 34	
5.4 FT-IR (ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER)	39

5.5 Análise Termogravimétrica.....	40
5.6 Rugosidade	42
5.7 Microdureza Vickers.....	44
5.8 Módulo de elasticidade	45
6 DISCUSSÃO	46
7.CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A odontologia reabilitadora tem como primordial objetivo restabelecer a integridade da estrutura dental de maneira abrangente, atendendo às exigências tanto funcionais quanto estéticas (Barazanchi, 2016). O constante crescimento da demanda por procedimentos dentários de caráter estético e de longa durabilidade tem fomentado a evolução de soluções de reabilitação, especialmente no que tange aos materiais utilizados em restaurações protéticas (Barazanchi, 2016; Della Bona, 2021; Javaid, 2019; Schulz et al., 2023).

Neste contexto, a tecnologia CAD/CAM (*Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*) tem se destacado como uma ferramenta de vanguarda na produção de restaurações dentárias. Essa abordagem oferece inúmeras vantagens, incluindo rapidez no processo, reprodutibilidade (Beuer, 2008; Javaid, 2019), e qualidade comparável ou superior às técnicas convencionais (Alqahtani, 2017). O método de fabricação subtrativa, amplamente empregado na atualidade, abarca uma gama variada de materiais apropriados para a produção de próteses dentárias, englobando metais, cerâmicas e resinas compostas (Lambert et al., 2017). Tal diversidade possibilita aos profissionais a escolha do material mais adequado a cada situação clínica, assegurando um tratamento personalizado de alta excelência. Entretanto, vale ressaltar que a fabricação subtrativa pode acarretar desperdício de material e riscos de microfissuras (Daher, 2022).

Em contrapartida, a Manufatura Aditiva emergiu como uma alternativa promissora, oferecendo benefícios notáveis como redução significativa de resíduos de material (Chaturvedi et al., 2020), menor custo e simplicidade operacional aprimorada. Este processo tecnológico se fundamenta na deposição sucessiva de camadas de material para a construção de objetos tridimensionais, abrangendo técnicas como sinterização de pó, fusão de materiais termoplásticos e polimerização de resinas em camadas subsequentes. A manufatura aditiva é aplicável na produção de diversos dispositivos, como guias cirúrgicos, coroas, bases para dentaduras, alinhadores transparentes, protetores bucais, além de próteses sobre implantes e restaurações confeccionadas com polímeros impressos em 3D (Dawood et al., 2015; Shim et al., 2020; Bayarsaikhan et al., 2021; Alshamrani et al., 2022).

Já é uma realidade o uso de resinas temporárias para impressão, uma vez que apresentam propriedades mecânicas notáveis, tais como resistência adequada (77,67 - 94,40 MPa), módulo de elasticidade favorável (0,5 – 1,8 GPa), boa conversão, integridade marginal e excelente adaptação, que as equiparam em qualidade aos materiais obtidos por fresagem (Tahayeri et al., 2018; Chaturvedi et al., 2020; Bayarsaikhan et al., 2021; Alshamrani et al., 2022; Daher et al., 2022; Graf et al., 2022; Kang et al., 2023). Para atingir esse desempenho, é crucial que as resinas de impressão mantenham uma consistência fluida e estabilidade estrutural durante todo o processo de impressão e armazenamento. Isso implica que sua composição deva conter uma menor quantidade de carga inorgânica em comparação com os compósitos empregados em blocos e discos, uma vez que uma carga reduzida impacta diretamente na rigidez do material, resultando em um módulo de elasticidade substancialmente inferior ao dos tecidos dentais duros (Kinney, 1996).

Nesse contexto, surgem as novas resinas de impressão, projetadas para uso em procedimentos de reabilitação dentária de longa duração (Barazanchi et al., 2016). Todavia, é importante notar que suas propriedades mecânicas, como resistência ao desgaste, resistência à flexão e reprodutibilidade, podem variar significativamente em função de diversos fatores, como a orientação da impressão, composição do material, métodos de limpeza após a impressão, devida a presença de monômeros residuais, e processo de cura do objeto impresso (Alharbi et al., 2016; Hwangbo et al., 2021). De acordo com a literatura essas resinas podem se apresentar como materiais híbridos reforçados por cerâmicas, como é o caso da resina a ser estudada, sendo produzidas restaurações por manufatura aditiva, incluindo coroas totais, inlays, onlays e facetas (Grzebieluch et al., 2021). Essa resina possui vantagens de acordo com pesquisas realizadas na indústria indicando elevada estabilidade dimensional, excelente adesão aos agentes de cimentação, biocompatibilidade e, também, a capacidade de suportar as cargas mastigatórias em 10 anos de simulação e apresenta alta resistência ao desgaste (Material fornecido pela empresa, disponível em: <https://www.bego.com/3d-printing/compatibility-overview%0Ahttps://www.bego.com/3dprinting/materials/varseosmile-crown/>).

O desgaste dos materiais dentários é um fenômeno complexo influenciado por propriedades mecânicas, como módulo de elasticidade, dureza e tenacidade à fratura, além da interação com diferentes materiais antagonistas (Heintze et al., 2005; Heintze

et al., 2006; Heintze et al., 2016). Na odontologia, esse processo pode ser fisiológico, resultante do contato natural entre os dentes, ou não fisiológico, comprometendo a função e a estética das relações oclusais (Branco et al., 2020). Ensaios in vitro frequentemente utilizam testes de atrito do tipo pino sobre disco para avaliar o comportamento de desgaste dos materiais restauradores, porém, muitas dessas pesquisas restringem-se à interação com um único tipo de antagonista, como esmalte dentário, resina composta, cerâmica ou ligas metálicas (Naumova et al., 2017). Considerando que a escolha do antagonista pode influenciar significativamente a taxa de desgaste da restauração e do dente oposto, estudos mais abrangentes, que avaliem a interação com múltiplos antagonistas, são essenciais para prever a longevidade clínica das restaurações e seu impacto sobre a integridade dos tecidos dentários.

Desse modo, é importante destacar que a literatura científica apresenta uma lacuna significativa na avaliação das propriedades mecânicas e do comportamento das resinas de longa duração em condições diversas, incluindo sua resposta ao desgaste fisiológico (Stansbury, 2016; Park et al. 2018; Bayarsaikhan et al., 2021; Hwangbo et al., 2021; Alshamrani et al., 2022) e frente a diferentes antagonistas. Ensaios de resistência ao desgaste são essenciais para prever o desempenho desses materiais em situações clínicas reais, especialmente quando se considera o desgaste do material antagonista (Ramos et al., 2023). Desse modo, no que se refere as propriedades mecânicas dos materiais dentários à base de resina, elas variam conforme a composição e o processo de fabricação, sua durabilidade e a resistência ao desgaste desses materiais, essenciais para suportar as forças da mastigação, são influenciadas pela interação entre as partículas de carga e a matriz polimérica. Estudos anteriores que simularam o desgaste frente a diferentes antagonistas, com variação de carga de 15N até 50N, demonstraram resultados muito variados, indicando assim, mais análises abrangentes sobre o comportamento desses materiais (Kessler et al., 2019; Shin et al., 2023). Embora técnicas como o glazeamento melhorem a resistência e a estabilidade da cor, ainda é necessário entender melhor a eficácia desses materiais a longo prazo na cavidade oral, especialmente em comparação com a dentição natural (Nam et al., 2024). Avaliar a resistência ao desgaste e a rugosidade é crucial para garantir a longevidade e a saúde oral.

Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar a resistência ao desgaste de uma resina indicada para restaurações de longa duração frente a quatro tipos de materiais antagonistas.

7. CONCLUSÃO

Pode-se concluir, dentro das limitações do presente estudo, que:

a) A resina de longa duração em estudo apresenta resistência ao desgaste adequada para uso a longo prazo, mas essa resistência ao desgaste é influenciada pelo material antagonista.

b) A resina impressa como antagonista em estudo apresenta uma resistência ao desgaste de acordo com a perda de volume semelhante a esteatita e a vitro-cerâmica reforçada por leucita, divergindo da resina composta CAD.

c) A aplicação da camada de *glaze* sobre a resina aumentou a resistência ao desgaste, protegendo-a, entretanto aumenta a rugosidade superficial média do material que dentro dos parâmetros de rugosidade são aceitáveis.

REFERÊNCIAS

Aldahian N, Khan R, Mustafa M, Vohra F, Alrahlah A. Influence of conventional, cad-cam, and 3d printing fabrication techniques on the marginal integrity and surface roughness and wear of interim crowns. *Appl. Sci.* 2021, *11*, 8964. <https://doi.org/10.3390/app11198964>

Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent.* 2016 Jun;115(6):760-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.12.002. Epub 2016 Jan 21. PMID: 26803175.

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 Feb 21; 2022:8353137. doi: 10.1155/2022/8353137. PMID: 35237691; PMCID: PMC8885203.

Anadioti, E., Kane, B. & Soulas, E. Current and emerging applications of 3d printing in restorative dentistry. *Curr Oral Health Rep* 5, 133–139 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40496-018-0181-3>

Arcila LVC, Ramos N de C, Bottino MA, Tribst JPM. Indications, materials and properties of 3D printing in dentistry: a literature overview. *RSD [Internet]*. 2020 Dez.4 [citado 2023 Mai 17];9(11):e80791110632. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10632>

Atria PJ, Bordin D, Marti F, Nayak VV, Conejo J, Benalcázar Jalkh E, Witek L, Sampaio CS. 3D-printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties. *J Esthet Restor Dent.* 2022 Jul;34(5):804-815. doi: 10.1111/jerd.12888. Epub 2022 Feb 20. PMID: 35187786.

Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent.* 2015 Oct;114(4):587-93. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.04.016. Epub 2015 Jul 2. PMID: 26141648.

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.

Bayarsaikhan E, Lim JH, Shin SH, Park KH, Park YB, Lee JH, et al. Effects of postcuring temperature on the mechanical properties and biocompatibility of three-dimensional printed dental resin material. *Polymers (Basel).* 2021 Apr 7;13(8):1180. doi: 10.3390/polym13081180. PMID: 33916899; PMCID: PMC8067535.

Benetti AR, Larsen L, Dowling AH, Fleming GJ. Assessment of wear facets produced by the ACTA wear machine. *J Dent.* 2016 Feb;45:19-25. doi: 10.1016/j.jdent.2015.12.003. Epub 2015 Dec 12. PMID: 26690332.

Berar, A. M.; Dudescu, M. C.; Carbonel, M.; Bocanet, V.; Buduru, S. D. In-Vitro Comparative Study of Compressive Strength in CAD/CAM Dental Materials. Preprints 2023, 2023091181. <https://doi.org/10.20944/preprints202309.1181.v1>

Bernardes, S. R. et al. Tecnologia CAD / CAM aplicada a prótese dentária e sobreimplantes: o que é, como funciona, vantagens e limitações: uma revisão crítica da literatura. *Ilapeo*. v.6, n.1, p.8-13, 2012.

Borella PS, Alvares LAS, Ribeiro MTH, Moura GF, Soares CJ, Zancopé K, Mendonça G, Rodrigues FP, das Neves FD. Physical and mechanical properties of four 3D-printed resins at two different thick layers: An in vitro comparative study. *Dent Mater*. 2023 Aug;39(8):686. doi: 10.1016/j.dental.2023.06.002. Epub 2023 Jun 23. PMID: 37357046.

Bottino MA, Campos F, Ramos NC, Rippe MP, Valandro LF, Melo RM. Inlays made from a hybrid material: adaptation and bond strengths. *Oper Dent*. 2015 May-Jun;40(3):E83-91. doi: 10.2341/13-343-L. Epub 2014 Nov 18. PMID: 25405903.

Branco AC, Colaço R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. A State-of-the-Art Review on the Wear of the Occlusal Surfaces of Natural Teeth and Prosthetic Crowns. *Materials (Basel)*. 2020 Aug 10;13(16):3525. doi: 10.3390/ma13163525. PMID: 32785120; PMCID: PMC7476047.

Chaturvedi S, Alqahtani NM, Addas MK, Alfarsi MA. Marginal and internal fit of provisional crowns fabricated using 3D printing technology. *Technol Health Care*. 2020;28(6):635-642. doi: 10.3233/THC-191964. PMID: 32280071.

Chun KJ, Lee JY. Comparative study of mechanical properties of dental restorative materials and dental hard tissues in compressive loads. *J Dent Biomech*. 2014 Oct 11;5:1758736014555246. doi: 10.1177/1758736014555246. PMID: 25352921; PMCID: PMC4209892.

Chung KH. The relationship between composition and properties of posterior resin composites. *J Dent Res*. 1990 Mar;69(3):852-6. doi: 10.1177/00220345900690030401. PMID: 2324348.

Coldea A, Swain M V., Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dent Mater [Internet]*. 2013;29(4):419–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2013.01.002>

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.

Dawood, A., Marti, B., Sauret-Jackson, V. et al. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 219, 521–529 (2015). <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>

Della Bona A, Cantelli V, Britto VT, Collares KF, Stansbury JW. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dent Mater*. 2021 Feb;37(2):336-350. doi: 10.1016/j.dental.2020.11.030. Epub 2021 Jan 19. PMID: 33353734; PMCID: PMC7855936.

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.

Fidalgo-Pereira R, Carpio D, Torres O, Carvalho O, Silva F, Henriques B, Özcan M, Souza JCM. The influence of inorganic fillers on the light transmission through resin-matrix composites during the light-curing procedure: an integrative review. *Clin Oral Investig*. 2022 Sep;26(9):5575-5594. doi: 10.1007/s00784-022-04589-5. Epub 2022 Jun 29. PMID: 35767045.

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.

Graf T, Erdelt KJ, Güth JF, Edelhoff D, Schubert O, Schweiger J. Influence of pre-treatment and artificial aging on the retention of 3D-printed permanent composite crowns. *Biomedicines*. 2022 Sep 4;10(9):2186. doi: 10.3390/biomedicines10092186. PMID: 36140287; PMCID: PMC9496133.

Grau A, Stawarczyk B, Roos M, Theelke B, Hampe R. Reliability of wear measurements of CAD-CAM restorative materials after artificial aging in a mastication simulator. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018 Oct;86:185-190. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.06.030. Epub 2018 Jun 25. PMID: 29986292.

Grzebieluch W, Kowalewski P, Grygier D, Rutkowska-Gorczyca M, Kozakiewicz M, Jurczyszyn K. Printable and machinable dental restorative composites for CAD/CAM application-comparison of mechanical properties, fractographic, texture and fractal dimension analysis. *Materials (Basel)*. 2021 Aug 29;14(17):4919. doi: 10.3390/ma14174919. PMID: 34501009; PMCID: PMC8434230.

Heintze SD, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. A comparison of three different methods for the quantification of the in vitro wear of dental materials. *Dent Mater*. 2006 Nov;22(11):1051-62. doi: 10.1016/j.dental.2005.08.010. Epub 2005 Dec 28. PMID: 16386293.

Heintze SD, Reichl FX, Hickel R. Wear of dental materials: Clinical significance and laboratory wear simulation methods -A review. *Dent Mater J*. 2019 Jun 1;38(3):343-353. doi: 10.4012/dmj.2018-140. Epub 2019 Mar 26. PMID: 30918233.

Heintze SD, Zappini G, Rousson V. Wear of ten dental restorative materials in five wear simulators--results of a round robin test. *Dent Mater*. 2005 Apr;21(4):304-17. doi: 10.1016/j.dental.2004.05.003. PMID: 15766577.

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 Dec 16;13(24):4410. doi: 10.3390/polym13244410. PMID: 34960960; PMCID: PMC8705711.

Incesu E, Yanikoglu N. Evaluation of the effect of diferente polishing systems on the surface roughness of dental ceramics. *J Prosthet Dent*. 2020;124(1):100-109.
Barkmeier W, Erickson R, Latta M, Wilwerding T. Wear Rates of Resin Composites. *Oper Dent*. 2013;38(2): 226-33.

Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2019 Jul-Sep;9(3):179-185. doi: 10.1016/j.jobcr.2019.04.004. Epub 2019 Apr 16. PMID: 31049281; PMCID: PMC6482339.

Jeong M, Radomski K, Lopez D, Liu JT, Lee JD, Lee SJ. Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview. *Dent J (Basel)*. 2023 Dec 19;12(1):1. doi: 10.3390/dj12010001. PMID: 38275676; PMCID: PMC10814684.

Jockusch J, Özcan M. Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dent Mater J*. 2020 Jun 5;39(3):345-354. doi: 10.4012/dmj.2019-123. Epub 2020 Feb 7. PMID: 32037387.

Kang YJ, Park Y, Shin Y, Kim JH. Effect of adhesion conditions on the shear bond strength of 3D printing resins after thermocycling used for definitive prosthesis. *Polymers (Basel)*. 2023 Mar 10;15(6):1390. doi: 10.3390/polym15061390. PMID: 36987170; PMCID: PMC10056338.

Keßler A, Dosch M, Reymus M, Folwaczny M. Influence of 3D-printing method, resin material, and sterilization on the accuracy of virtually designed surgical implant guides. *J Prosthet Dent*. 2022 Aug;128(2):196-204. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.038. Epub 2021 Feb 8. PMID: 33573833.

Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry-state of the art. *Oper Dent*. 2020 Jan/Feb;45(1):30-40. doi: 10.2341/18-229-L. Epub 2019 Jun 7. PMID: 31172871.

Kessler A, Reymus M, Hickel R, Kunzelmann KH. Three-body wear of 3D printed temporary materials. *Dent Mater*. 2019 Dec;35(12):1805-1812. doi: 10.1016/j.dental.2019.10.005. Epub 2019 Nov 12. PMID: 31727446.

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.

Kim JH, Pinhata-Baptista OH, Ayres AP, da Silva RLB, Lima JF, Urbano GS, No-Cortes J, Vasques MT, Cortes ARG. Accuracy Comparison among 3D-Printing

Technologies to Produce Dental Models. *Applied Sciences*. 2022; 12(17):8425. <https://doi.org/10.3390/app12178425>

Kinney JH, Balooch M, Marshall SJ, Marshall GW Jr, Weihs TP. Hardness and young's modulus of human peritubular and intertubular dentine. *Arch Oral Biol*. 1996 Jan;41(1):9-13. doi: 10.1016/0003-9969(95)00109-3. PMID: 8833584.

Laborie M, Naveau A, Menard A. CAD-CAM resin-ceramic material wear: A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2024 May;131(5):812-818. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.01.027. Epub 2022 Apr 19. PMID: 35459543.

Lambert H, Durand JC, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont*. 2017 Dec;9(6):486-495. doi: 10.4047/jap.2017.9.6.486. Epub 2017 Dec 14. PMID: 29279770; PMCID: PMC5741454.

Lee A, He LH, Lyons K, Swain MV. Tooth wear and wear investigations in dentistry. *J Oral Rehabil*. 2012 Mar;39(3):217-25. doi: 10.1111/j.1365-2842.2011.02257.x. Epub 2011 Sep 16. PMID: 21923888.

Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res*. 1985 Dec;64(12):1396-401. doi: 10.1177/00220345850640121501. PMID: 3001160.

Lin-Gibson S, Sung L, Forster AM, Hu H, Cheng Y, Lin NJ. Effects of filler type and content on mechanical properties of photopolymerizable composites measured across two-dimensional combinatorial arrays. *Acta Biomater*. 2009 Jul;5(6):2084-94. doi: 10.1016/j.actbio.2009.01.043. Epub 2009 Feb 5. PMID: 19282260.

Lohbauer U, Reich S. Antagonist wear of monolithic zirconia crowns after 2 years. *Clin Oral Investig*. 2017 May;21(4):1165-1172. doi: 10.1007/s00784-016-1872-6. Epub 2016 Jun 9. PMID: 27277661.

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.

Nam NE, Hwangbo NK, Kim JE. Effects of surface glazing on the mechanical and biological properties of 3D printed permanent dental resin materials. *J Prosthodont Res*. 2024 Apr 8;68(2):273-282. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_22_00261. Epub 2023 Jun 22. PMID: 37245959.

Naumova EA, Schneider S, Arnold WH, Piwowarczyk A. Wear Behavior of Ceramic CAD/CAM Crowns and Natural Antagonists. *Materials (Basel)*. 2017 Feb 28;10(3):244. doi: 10.3390/ma10030244. PMID: 28772602; PMCID: PMC5503368.

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.

Niem T, Youssef N, Wöstmann B. Influence of accelerated ageing on the physical properties of CAD/CAM restorative materials. *Clin Oral Investig*. 2020 Jul;24(7):2415-2425. doi: 10.1007/s00784-019-03101-w. Epub 2019 Nov 4. PMID: 31686236.

Park JM, Ahn JS, Cha HS, Lee JH. Wear resistance of 3D printing resin material opposing zirconia and metal antagonists. *Materials (Basel)*. 2018 Jun 20;11(6):1043. doi: 10.3390/ma11061043. PMID: 29925763; PMCID: PMC6025067.

Prause E, Hey J, Beuer F, Yassine J, Hesse B, Weitkamp T, Gerber J, Schmidt F. Microstructural investigation of hybrid CAD/CAM restorative dental materials by micro-CT and SEM. *Dent Mater*. 2024 Jun;40(6):930-940. doi: 10.1016/j.dental.2024.04.006. Epub 2024 May 9. PMID: 38724334.

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.

Preis V, Behr M, Kolbeck C, Hahnel S, Handel G, Rosentritt M. Wear performance of substructure ceramics and veneering porcelains. *Dent Mater*. 2011 Aug;27(8):796-804. doi: 10.1016/j.dental.2011.04.001. Epub 2011 Apr 27. PMID: 21524788.

Ramos NC, Augusto MG, Alves LMM, Kleverlaan CJ, Dal Piva AMO. O. Wear of dental ceramics. *Braz. Dent. Sci*. 2023;26(1):e3638. <https://doi.org/10.4322/bds.2023.e3638>

Revilla-León M, Özcan M. Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. *J Prosthodont*. 2019 Feb;28(2):146-158. doi: 10.1111/jopr.12801. Epub 2018 Apr 22. PMID: 29682823.

Reymus M, Lümke mann N, Stawarczyk B. 3D-printed material for temporary restorations: impact of print layer thickness and post-curing method on degree of conversion. *Int J Comput Dent*. 2019;22(3):231-237. PMID: 31463487.

Reymus M, Fabritius R, Keßler A, Hickel R, Edelhoff D, Stawarczyk B. Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging-an in vitro study. *Clin Oral Investig*. 2020 Feb;24(2):701-710. doi: 10.1007/s00784-019-02952-7. Epub 2019 May 24. PMID: 31127429.

Rodríguez HA, Kriven WM, Casanova H. Development of mechanical properties in dental resin composite: Effect of filler size and filler aggregation state. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2019 Aug;101:274-282. doi: 10.1016/j.msec.2019.03.090. Epub 2019 Mar 26. PMID: 31029321.

Saini J, Dowling L, Kennedy J, Trimble D. Investigations of the mechanical properties on different print orientations in SLA 3D printed resin. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2020;234(11):2279-2293. doi:10.1177/0954406220904106

Schulz AC, Othman A, Ströbele DA, Wagner J, Mosch R, von See C. Fracture strength test of digitally produced ceramic-filled and unfilled dental resin restorations via 3d printing: An in vitro study. *J Clin Exp Dent*. 2023 Feb 1;15(2):e118-e124. doi: 10.4317/jced.60173. PMID: 36911153; PMCID: PMC9994653.

Shim JS, Kim JE, Jeong SH, Choi YJ, Ryu JJ. Printing accuracy, mechanical properties, surface characteristics, and microbial adhesion of 3D-printed resins with various printing orientations. *J Prosthet Dent*. 2020 Oct;124(4):468-475. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.05.034. Epub 2019 Dec 4. PMID: 31810611.

Shimizu D, Macho GA, Spears IR. Effect of prism orientation and loading direction on contact stresses in prismatic enamel of primates: implications for interpreting wear patterns. *Am J Phys Anthropol*. 2005 Apr;126(4):427-34. doi: 10.1002/ajpa.20031. PMID: 15386229.

Shin Y, Wada K, Tsuchida Y, Ijbara M, Ikeda M, Takahashi H, Iwamoto T. Wear behavior of materials for additive manufacturing after simulated occlusion of deciduous dentition. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2023 Feb;138:105627. doi: 10.1016/j.jmbbm.2022.105627. Epub 2022 Dec 13. PMID: 36571853.

Silva EH, Albuquerque RC, Lanza LD, Vieira GC, Peixoto RT, Alvim HH, et al. Influence of different light sources on the conversion of composite resins. *Indian J Dent Res*. 2011. 22:790-4.

Studies, S. VarseoSmile Crown. [s. l.], n. November, 2021. Disponível em: <https://www.bego.com/3d-printing/compatibility-overview%0Ahttps://www.bego.com/3dprinting/materials/varseosmile-crown/>.

Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, Ferracane JL, Bertassoni LE. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater*. 2018 Feb;34(2):192-200. doi: 10.1016/j.dental.2017.10.003. Epub 2017 Oct 27. PMID: 29110921; PMCID: PMC5801146.

Taşın S, Ismatullaev A, Usumez A. Comparison of surface roughness and color stainability of 3-dimensionally printed interim prosthodontic material with conventionally fabricated and CAD-CAM milled materials. *J Prosthet Dent*. 2022 Nov;128(5):1094-1101. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.01.027. Epub 2021 Mar 11. PMID: 33715836.

Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, Lu X, Shi H, Lee ES, Jiang HB. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications.

Scanning. 2021 Jul 17;2021:9950131. doi: 10.1155/2021/9950131. PMID: 34367410; PMCID: PMC8313360.

Tsolakis IA, Papaioannou W, Papadopoulou E, Dalampira M, Tsolakis AI. Comparison in Terms of Accuracy between DLP and LCD Printing Technology for Dental Model Printing. *Dentistry Journal*. 2022; 10(10):181. <https://doi.org/10.3390/dj10100181>

Turssi CP, Ferracane JL, Vogel K. Filler features and their effects on wear and degree of conversion of particulate dental resin composites. *Biomaterials*. 2005 Aug;26(24):4932-7. doi: 10.1016/j.biomaterials.2005.01.026. PMID: 15769527.

Wendlant WW. *Thermal Analysis*. Third Edition ed 1986.

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.

Zaim B, Serin Kalay T, Purcek G. Friction and wear behavior of chairside CAD-CAM materials against diferente types of antagonists: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2022;128(4):803-813.