

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 15/12/2027.



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Marcus Vinicyus Manoel da Silva

Análise comparativa de propriedades mecânicas e ópticas de resinas compostas convencionais, fresadas e para impressão frente ao envelhecimento causado pela escovação: um estudo de microdureza, rugosidade de superfície, estabilidade de cor, brilho e resistência a flexão

Araraquara

2025



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Marcus Vinicyus Manoel da Silva

Análise comparativa de propriedades mecânicas e ópticas de resinas compostas convencionais, fresadas e para impressão frente ao envelhecimento causado pela escovação: um estudo de microdureza, rugosidade de superfície, estabilidade de cor, brilho e resistência a flexão

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas, Área de Dentística Restauradora

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves de Campos

Araraquara
2025

S586a

Silva, Marcus Vinicyus Manoel da

Análise comparativa de propriedades mecânicas e ópticas de resinas compostas convencionais, fresadas e para impressão frente ao envelhecimento causado pela escovação: um estudo de microdureza, rugosidade de superfície, estabilidade de cor, brilho e resistência a flexão / Marcus Vinicyus Manoel da Silva. -- Araraquara, 2025
59 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia, Araraquara

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves de Campos

1. Resinas compostas. 2. Propriedades de superfície. 3. Resistência à flexão. 4. esenho assistido por computador.. I. Título.

Marcus Vinicyus Manoel da Silva

Análise comparativa de propriedades mecânicas e ópticas de resinas compostas convencionais, fresadas e para impressão frente ao envelhecimento causado pela escovação: um estudo de microdureza, rugosidade de superfície, estabilidade de cor, brilho e resistência a flexão

Comissão julgadora

BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Edson Alves de Campos.

2º Examinador: Prof. Dr. Aryvelto Miranda Silva.

3º Examinador: Prof. Dra. Joissi Ferrari Zaniboni.

4º Examinador: Prof. Dr. João Felipe Besegato.

5º Examinador: Prof. Dr. Marcelo Ferrarezi de Andrade.

Araraquara, 15 de dezembro de 2025.

DADOS CURRICULARES

Marcus Vinicyus Manoel da Silva

NASCIMENTO: 04/03/1996 – Várzea Grande – MT

FILIAÇÃO: Pedro Izidio da Silva
Eliad Santana Barros da Silva

2022 – Doutorado em andamento em Odontologia (Dentística Restauradora).
Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, UNESP, Brasil.
Orientador: Edson Alves de Campos.

2020 – Mestre em Odontologia (Materiais Dentários).
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Brasil.
Orientador: Mario Sinhoretti.

2018 – Especialista em Prótese Dentária.
Faculdade de Tecnologia dos Ype, FAIPE, Brasil.
Orientador: Eduardo Souza Junior.

2018 – Especialista em Ortodontia e Ortopedia funcional dos maxilares.
Faculdade de Tecnologia dos Ype, FAIPE, Brasil.
Orientador: Bruna Lorena Santos.

2014 – Graduação em Odontologia.
Centro Universitário de Várzea Grande, UNIVAG.
Orientador: Dyego Deliberali.

Dedico este trabalho a minha família, meu alicerce e minha razão. Ao meu pai, **Pedro** (*in memoriam*), que mesmo ausente fisicamente, permanece vivo em cada conquista minha, sua força e seus valores continuam me guiando e cuja memória me inspira ser alguém melhor todos os dias. A minha mãe, **Eliad**, exemplo de amor, fé e coragem, que nunca deixou de acreditar em mim, e com sua dedicação sustentavam meus passos. A minha querida irmã **Laryssa**, pelo companheirismo e apoio constante mesmo que longe, contribuiu com essa jornada. Ao meu cunhado **João**, por todo apoio e carinho. E a minha amada e querida sobrinha **Liv**, que simboliza a continuidade da vida e a doçura das novas gerações, enchendo nossos corações de esperança.

Um beijo em seus corações!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, sem ele nada seria possível.

Ao professor **Edson Alves de Campos**, por me conduzir, e orientar ao longo dessa jornada, me abraçando e me acolhendo como um pai em Araraquara, fazendo com que esse período se tornasse mais leve. Será sempre minha referência como docente, muito obrigado por tudo.

Ao Programa de Pós-Graduação da Foar, nas pessoas dos Professores **Andreia, Osmir, Marcelo, Kuga, Alessandra, Marília e Saad**.

Aos meus familiares, que contribuíram com apoio emocional, e em fervente oração por esse período longe de casa.

Aos amigos, **Hobedd Silva e Amanda** por compreenderem, abraçarem e apoiarem a busca desse sonho.

Ao Amigo, orientador, aconselhador e apoiador, **Eduardo Souza Junior**, por me apresentar o melhor que a odontologia pode oferecer, e me fazer apaixonar por essa profissão.

À CAPES: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Muito obrigado!

*“A fé não torna as coisas fáceis, torna-as possíveis.”**

** Lucas 1.37*

Silva MVM. Análise comparativa de propriedades mecânicas e ópticas de resinas compostas convencionais, fresadas e para impressão frente ao envelhecimento causado pela escovação: um estudo de microdureza, rugosidade de superfície, estabilidade de cor, brilho e resistência a flexão [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

RESUMO

O avanço das tecnologias digitais tem impulsionado o desenvolvimento de novos materiais restauradores à base de resina composta, que diferem principalmente quanto ao processo de fabricação e ao grau de polimerização. Este estudo teve como objetivo comparar o comportamento mecânico e óptico de três tipos de resinas compostas convencional, fresada (CAD/CAM) e impressa (3D) frente ao envelhecimento por escovação simulada. Foram confeccionadas amostras padronizadas e divididas em grupos submetidos a 10.000 e 50.000 ciclos de escovação, correspondentes aproximadamente a um e cinco anos de escovação clínica. As propriedades avaliadas foram microdureza Knoop, rugosidade de superfície, estabilidade de cor (ΔE_{00}), brilho (GU) e resistência à flexão. Os resultados demonstraram que o método de fabricação exerce influência significativa sobre as propriedades avaliadas. A resina fresada apresentou o melhor desempenho geral, com alta microdureza, menor rugosidade, maior estabilidade de cor e brilho, e melhor resistência à flexão, evidenciando maior homogeneidade estrutural e confiabilidade mecânica. A resina convencional mostrou comportamento intermediário, com aumento progressivo de rugosidade e leve redução do brilho e da resistência após o envelhecimento. Já a resina impressa (3D) apresentou maior sensibilidade à abrasão e à perda de brilho, embora tenha mantido alterações de cor clinicamente aceitáveis. Conclui-se que o processo de fabricação e o grau de conversão polimérica são determinantes para o desempenho clínico das resinas compostas. Materiais CAD/CAM fresados demonstram maior resistência e estabilidade óptica frente ao envelhecimento abrasivo, enquanto as resinas impressas ainda demandam melhorias em pós-cura e formulação para alcançar comportamento comparável aos materiais industrializados. Esses achados reforçam a importância da preservação estrutural e da seleção adequada de materiais digitais na odontologia restauradora contemporânea.

Palavras-chave: Resinas compostas; Propriedades de superfície; Resistência à flexão; Desenho assistido por computador.

Silva MVM. Comparative analysis of mechanical and optical properties of conventional, milled, and 3D-printed resin composites subjected to toothbrushing aging: a study of microhardness, surface roughness, color stability, gloss, and flexural strength [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

ABSTRACT

The advancement of digital dentistry has led to the development of new resin composite materials differing mainly in their manufacturing process and degree of polymerization. This study aimed to compare the mechanical and optical behavior of conventional, CAD/CAM milled, and 3D-printed resin composites after simulated toothbrushing aging. Standardized specimens were fabricated and subjected to 10,000 and 50,000 brushing cycles, simulating approximately one and five years of clinical wear. The evaluated properties included Knoop microhardness, surface roughness, color stability (ΔE_{00}), gloss (GU), and flexural strength. Results revealed that the manufacturing method significantly affected the evaluated properties. The milled CAD/CAM resin composite showed the best overall performance, maintaining higher hardness, smoother surfaces, greater color and gloss stability, and higher flexural strength, reflecting a more homogeneous and reliable polymer network. The conventional resin composite exhibited intermediate behavior, with increased roughness and minor loss of gloss and strength over time. The 3D-printed resin composite, despite clinically acceptable color changes, showed greater susceptibility to abrasion and gloss reduction due to limitations in layer polymerization and post-curing efficiency. Within the study's limitations, it can be concluded that polymer network density and manufacturing technology play a decisive role in the durability and optical stability of resin composites. CAD/CAM milled materials demonstrated superior performance under simulated aging, while 3D-printed resins require further optimization of printing parameters and post-curing processes to achieve comparable reliability. These findings emphasize the relevance of material selection and minimally invasive restorative strategies for long-term success in modern digital restorative dentistry.

Keywords: Composite resins; Surface properties; Flexural strength; Computer-aided design.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 PROPOSIÇÃO	12
3 PUBLICAÇÕES	13
3.1 Publicação 1.....	14
3.2 Publicação 2.....	28
3.1 Publicação 3	43
4 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A constante busca por avanços na odontologia restauradora tem resultado na evolução de uma ampla gama de materiais e tecnologias, cada uma com suas próprias características distintivas e aplicações clínicas. Entre esses avanços notáveis, a comparação entre resinas compostas, resinas fresadas e resinas impressas emerge como um tema essencial para a compreensão aprofundada das opções disponíveis para os profissionais de odontologia¹ (Reis, 2020). Essas tecnologias desempenham papéis cruciais na transformação da prática odontológica moderna, oferecendo soluções inovadoras para a restauração de estruturas dentárias comprometidas.

As resinas compostas têm desempenhado um papel fundamental na odontologia restauradora ao longo das décadas. Compostas por uma matriz de polímero orgânico reforçada com partículas de carga inorgânica, as resinas compostas oferecem uma combinação única de estética e resistência mecânica² (Ardu. Et al, 2017). Essa versatilidade faz delas uma escolha popular para restaurações diretas, permitindo a recriação da forma e função dos dentes naturais. No entanto, a aplicação das resinas compostas demanda habilidades clínicas significativas e a durabilidade das restaurações está sujeita a variáveis como a técnica utilizada e a carga oclusal.

As resinas fresadas representam uma abordagem moderna e tecnologicamente avançada para a confecção de restaurações. Utilizando sistemas CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing), as resinas fresadas são esculpidas a partir de blocos pré-fabricados de resina. Esse processo altamente automatizado resulta em restaurações precisas, com adaptação marginal refinada e contornos ideais. A tecnologia de resina fresada oferece uma abordagem padronizada e eficiente, reduzindo a variabilidade introduzida por fatores humanos. Entretanto, a implementação desses sistemas requer investimento em equipamentos e treinamento especializado³ (Sun T, 2019).

Por sua vez, as resinas impressas têm emergido como uma inovação disruptiva na odontologia restauradora, aproveitando a manufatura aditiva. Usando impressoras 3D dedicadas, camadas sucessivas de resina líquida são depositadas para criar estruturas dentárias altamente personalizadas⁴ (Abduo. Et al, 2014). A resina impressa oferece um nível impressionante de detalhes microscópicos, permitindo a criação de restaurações intrincadas e altamente adaptadas às necessidades de cada paciente.

A personalização e precisão dessa tecnologia são inegáveis, mas desafios permanecem em termos de seleção de materiais e aprimoramento da técnica.

4 CONCLUSÃO

De forma geral, o método de fabricação mostrou-se determinante para o desempenho global das resinas compostas. As resinas fresadas (CAD/CAM) apresentaram os melhores resultados mecânicos e ópticos, com maior resistência à flexão, microdureza e estabilidade de cor e brilho após o envelhecimento por escovação, refletindo sua estrutura polimérica mais densa e homogênea. As resinas convencionais exibiram comportamento intermediário, enquanto as resinas impressas (3D) mostraram maior sensibilidade à abrasão e à degradação superficial, indicando a necessidade de avanços na eficiência de polimerização e pós-cura. Esses achados reforçam que o controle industrial de polimerização e a densidade de carga inorgânica são fatores decisivos para a durabilidade e previsibilidade clínica, consolidando as resinas CAD/CAM como padrão de referência na odontologia digital restauradora contemporânea.

REFERÊNCIAS *

1. Cramer NB, Stansbury JW, Bowman CN. Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *J Dent Res*. 2011; 90(4):402–16.
2. Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res*. 2014; 93(12):1232–40.
3. Grzebieluch W, Mikulewicz M, Kaczmarek U. Resin composite materials for chairside CAD/CAM restorations: a comparison of selected mechanical properties. *J Healthc Eng*. 2021; 2021: 8828954.
4. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont*. 2019;28(2):146–58.
5. Mai HN, Hong SH, Lee DH. Effects of post-curing and printing orientation on the mechanical properties of 3D printed dental resin. *Polymers (Basel)*. 2021; 13(3):536.
6. Barutcgil Ç, Bilgili D, Barutcgil K, Yilmaz B. Effect of simulated toothbrushing on the surface roughness and hardness of 3D printed, CAD/CAM, and conventional resin composites. *J Esthet Restor Dent*. 2022; 34(7):1001–9.
7. Ardu S, Braut V, Gutemberg D, Krejci I, Dietschi D, Feilzer AJ. A long-term laboratory test on color stability of aesthetic restorative materials. *Dent Mater*. 2017;33(4): 376–82.
8. Lee YK, Powers JM. Color and optical properties of resin-based composites: review of the literature. *J Dent*. 2020; 95:103312.
9. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater*. 2018; 34(5):849–56.
10. Sun T, Zhou S, Liao Y, et al. Advances in CAD/CAM technology: options for practical implementation. *J Prosthodont*. 2019; 28(3):e879–83.

11. Ilie N, Ruse ND, Hickel R. Mechanical properties of CAD/CAM resin-based composites. *Dent Mater.* 2017; 33(8): 895–902.
12. Alharbi N, Wismeijer D, Osman RB. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent.* 2016; 115(6): 760–7.
13. Kim M, Jeong JH, Lee JH. Comparative evaluation of the mechanical properties and microstructures of 3D printed and milled resin composites. *Dent Mater J.* 2022; 41(1):126–33.
14. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Güth JF. Evaluation of mechanical and optical behavior of current aesthetic dental CAD/CAM materials after aging. *Dent Mater J.* 2021; 40(6): 1331–8.
15. Spitznagel FA, Boldt J, Gierthmuehlen PC. CAD/CAM resin composite materials: mechanical properties and comparison to conventional direct composites. *Dent Mater.* 2018; 34(8): 1326–44.
16. Heintze SD, Forjanic M, Rousson V. Surface roughness and gloss of dental materials as a function of force and polishing time in vitro. *Dent Mater.* 2019; 35(8): 1114–22.
17. Zaki AA, Alothman Y, Al Jabbari YS. Influence of aging and simulated toothbrushing on surface properties and wear behavior of CAD/CAM composite materials. *J Prosthet Dent.* 2021; 126(3): 423–30.
18. Bagheri R, Burrow MF, Tyas MJ. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent.* 2005; 33(5):389–98.
19. Moraes RR, Gonçalves L, Lancellotti AC, Consani S, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Nanohybrid resin composites: nanofiller loading, mechanical properties, and light transmission. *Dent Mater.* 2009; 25(5): 539–44.
20. Ferracane JL. Resin composite—state of the art. *Dent Mater.* 2011; 27(1): 29–38.
21. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials.* 2002; 23(8):1819–29.

22. Zhang Y, Kelly JR. Dental ceramics for restoration and metal veneering. *Dent Clin North Am.* 2017; 61(4): 797–819.
23. Sideridou I, Achilias DS. Water sorption characteristics of light-cured dental resins and composites based on Bis-GMA, UDMA, and TEGDMA. *Biomaterials.* 2004; 25(2): 367–76.
24. Gonçalves F, Azevedo CL, Ferracane JL, Braga RR. BisGMA/TEGDMA ratio and filler content effects on shrinkage stress. *Dent Mater.* 2011; 27(6): 520–6.
25. Chen YM, Smales RJ, Yip KH, Sung WJ. Translucency and biaxial flexural strength of four resin composite materials. *Dent Mater.* 2008; 24(11):1506–11.
26. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent.* 2015; 114(4): 587–93.
27. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LVJ. Direct composite restorations for extensive posterior cavities: a review. *Dent Mater.* 2018; 34(4): 512–8.
28. Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila LVJ. 3D printed versus CAD/CAM milled interim crowns: assessment of mechanical properties. *J Dent.* 2022; 118:103971.
29. Alharbi N, Osman RB, Wismeijer D. Effects of build direction on flexural strength of 3D printed resins used for interim restorations. *J Prosthodont.* 2017; 26(7): 575–84.
30. Jongsma LA, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Influence of temperature on the viscoelastic behavior of dental resin composites. *Dent Mater.* 2012; 28(10): 1032–9.
31. Della Bona A, Pecho OE, Alessandretti R. Zirconia as a dental biomaterial. *Materials (Basel).* 2015; 8(8): 4978–91.
32. D’Arcangelo C, De Angelis F, D’Amario M, Vadini M, Zazzaroni S, Caputi S. Flexural strength and modulus of different CAD/CAM hybrid materials before and after aging. *J Prosthodont Res.* 2020; 64(4): 450–7.