

RESINAS FOTOSSENSÍVEIS PARA MANUFATURA ADITIVA DE PLACAS OCLUSAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE

MARCELO BROD¹, ADRIANA FERNANDES DA SILVA², EVANDRO PIVA³,
NOÉLI BOSCATO⁴, WELLINGTON LUIZ DE OLIVEIRA DA ROSA⁵

¹Faculdade de Odontologia UFPel – marcelopbrod@gmail.com

²Faculdade de Odontologia UFPel – adrisilvapiva@gmail.com

³Faculdade de Odontologia UFPel – evpiva@gmail.com

⁴Faculdade de Odontologia UFPel – noeliboscato@gmail.com

⁵Faculdade de Odontologia UFPel – wellingtonxy@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os dispositivos oclusais são importantes no tratamento de disfunções temporomandibulares (DTMs) e bruxismo, além de protegerem as estruturas dentárias contra desgaste excessivo e forças oclusais (PRPIC et al., 2019). Tradicionalmente, o polimetilmetacrilato (PMMA) tem sido o material mais utilizado para a confecção de placas oclusais, disponível nas formas auto polimerizada, termo polimerizada e fresada (DE et al., 2022), (GUIMARAES et al., 2023). A versão termo polimerizada é frequentemente preferida devido à sua facilidade de obtenção e propriedades físicas. No entanto, o PMMA fresado oferece um bom equilíbrio entre resistência, adaptabilidade clínica e tecnologia de confecção, especialmente para placas oclusais (GUIMARAES et al., 2023).

O avanço das tecnologias digitais, como o design e fabricação assistidos por computador (CAD-CAM) e a manufatura aditiva com resinas fotossensíveis, revolucionou a produção dessas placas, proporcionando maior precisão, reprodutibilidade e potencial para produção em larga escala (SCHWEIGER; EDELHOFF; GÜTH, 2021). Embora o PMMA tradicional continue sendo confiável pela facilidade de uso e desempenho clínico, os materiais impressos ganham espaço devido à personalização e eficiência de fabricação (ORGEV et al., 2023). No entanto, as propriedades mecânicas variam conforme o método de produção (LAWSON et al., 2024).

A manufatura aditiva, por meio de tecnologias de impressão como DLP, SLA e LCD, oferece vantagens em precisão, custo e velocidade (CRUZ-ARAÚJO et al., 2025). As resinas utilizadas devem apresentar propriedades mecânicas e biocompatibilidade adequadas para garantir a durabilidade (WEŻGOWIEC et al., 2024; VÄYRYNEN; TANNER; VALLITTU, 2016). O fluxo digital permite modificações rápidas, precisas e reprodutibilidade, superando técnicas tradicionais que necessitam de moldagem (ORGEV et al., 2023; MALEKI et al., 2024). Fatores como orientação de impressão, pós-processamento e polimento influenciam a acurácia, resistência ao desgaste e biocompatibilidade (ORGEV et al., 2023), (VÄYRYNEN; TANNER; VALLITTU, 2016). Assim, a escolha do material e método deve considerar não apenas eficiência ou custo, mas também propriedades mecânicas e interações biológicas. Por causa disso, esta revisão sistemática visou comparar as propriedades físicas, mecânicas e biológicas das resinas fotossensíveis usadas na manufatura aditiva com o PMMA tradicional.

2. METODOLOGIA

Esta revisão sistemática está reportada de acordo com o PRISMA (PAGE et al., 2021) e foi registrada no Open Science Framework (OSF: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/GU5ZP>). A questão de pesquisa foi “As resinas usadas na manufatura aditiva de placas oclusais apresentam desempenho

similar às resinas convencionais à base de PMMA em propriedades físicas, mecânicas e biológicas?”. Para isso, a revisão utilizou o acrônimo PICO, considerando placas oclusais como população, resinas fotossensíveis como intervenção, comparando com PMMA fresado, auto polimerizado e termo polimerizado como controle, e avaliando desfechos in vitro de propriedades físicas, mecânicas e biológicas. Os critérios de inclusão envolveram estudos in vitro de placas oclusais fabricadas com técnicas de manufatura aditiva, excluindo revisões, relatos de caso e estudos que não utilizassem PMMA como controle.

A busca foi feita de forma independente por dois revisores no PubMed (Medline), EMBASE, Web of Science, Scopus, SciELO, e BVS e os dados extraídos foram analisados de maneira descritiva em tabelas contendo informações como autor, ano, tipo de resina, parâmetros de impressão, métodos de pós-cura e resultados principais. A meta-análise foi realizada para comparar a dureza e resistência à flexão entre as resinas fotossensíveis e as resinas tradicionais de PMMA, utilizando um modelo de efeitos aleatórios. Demais desfechos como desgaste, resistência à fratura e propriedades biológicas foram analisados qualitativamente. O risco de viés foi avaliado usando o RoBDEMAT (DELGADO et al., 2022), considerando critérios como randomização, tamanho da amostra e preparação dos materiais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca nas bases de dados identificou 5.144 registros. Após remover duplicatas, 2.017 permaneceram, dos quais 1.975 foram excluídos por não atenderem aos critérios. Assim, 43 estudos foram incluídos na revisão sistemática e 16 na metanálise. Os 43 estudos publicados entre 2016 e 2025 analisaram diferentes tipos de resinas para placas oclusais, incluindo 43 fotossensíveis, 23 fresadas e 12 acrílicas convencionais. Foram utilizadas diversas impressoras 3D e protocolos de cura, incluindo luz UV, fornos térmicos e gases inertes.

A dureza foi avaliada em 10 estudos. A meta-análise mostrou desempenho significativamente superior dos materiais convencionais sobre os de manufatura aditiva, com diferenças significativas a favor de resinas fresadas e termo polimerizadas. O valor global mostrou uma diferença média padronizada de 4,77 (IC95%: -6,79 a -2,75) a favor do grupo controle, com heterogeneidade elevada ($I^2 = 97\%$). A análise geral indicou menor dureza para as impressas em 3D, embora protocolos adequados de pós-cura e polimento melhorem os resultados. Quanto a resistência a flexão (Figura 1). Baseada em 12 estudos (15 impressas, 7 fresadas, 3 termos polimerizadas), a maioria utilizando o ensaio de três pontos, a meta-análise de resistência à flexão revelou superioridade das fresadas e termo polimerizadas sobre as resinas 3D, com diferença estatística significativa. Resinas auto polimerizadas não mostraram diferença relevante em relação às impressas. Valores médios para fresadas variaram entre 105 e 252 MPa, contra médias de 36 a 100 MPa nas 3D (WADA et al., 2023).

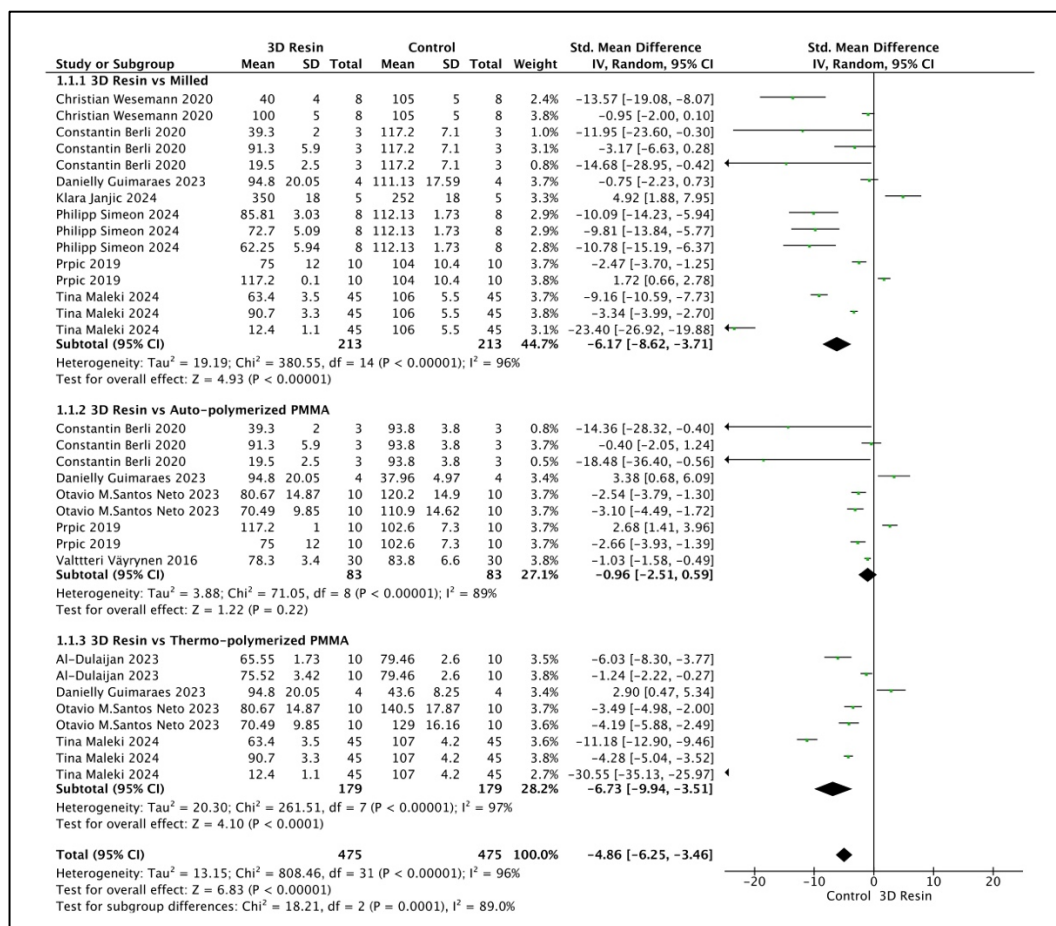


Figura 1. Meta-análise dos resultados de resistência à flexão entre resinas impressas em 3D e resinas à base de PMMA fresadas, auto polimerizadas e termo polimerizadas como controles. Os controles de PMMA fresados e termo polimerizados apresentaram resistência à flexão significativamente maior do que as resinas fotossensíveis na análise de subgrupos ($p \leq 0,05$), enquanto os resultados foram estatisticamente semelhantes quando as resinas impressas em 3D foram comparadas ao PMMA auto polimerizado ($p = 0,22$).

As meta-análises confirmam que, tanto para dureza quanto para resistência à flexão, os materiais fresados e termo polimerizados superam as resinas fotossensíveis (GUIMARAES et al., 2023). Apesar disso, as 3D apresentam vantagens como personalização, custo reduzido e produção rápida, podendo atingir desempenho clínico aceitável com pós-cura, polimento e controle de parâmetros de impressão (PRPIC et al., 2018). Materiais termo polimerizados tem desempenho intermediário, equilibrando resistência e custo (WADA et al., 2023).

A heterogeneidade metodológica foi alta, com diferenças em formulação, impressão, pós-cura e testes, dificultando comparações diretas. A predominância de estudos in vitro limita extrapolações clínicas, reforçando a necessidade de ensaios clínicos de longo prazo e padronização de protocolos. Na prática, a escolha deve equilibrar propriedades mecânicas e biológicas com adaptação clínica, durabilidade e viabilidade técnica e econômica. Enquanto fresados permanecem como referência para resistência e estabilidade, a impressão 3D já é opção viável para casos selecionados, e sua evolução tende a reduzir o gap em relação aos métodos convencionais.

4. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que as resinas fotossensíveis utilizadas na impressão 3D para a fabricação de placas oclusais apresentaram propriedades

físicas, mecânicas e biológicas inferiores em comparação aos materiais de PMMA convencionais. Portanto, a indicação de placas impressas deve ser cuidadosamente avaliada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PRPIC, V.; SLACANIN, I.; SCHAUPERL, Z.; CATIC, A.; DULCIC, N.; CIMIC, S. A study of the flexural strength and surface hardness of different materials and technologies for occlusal device fabrication. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2019.
- DE, V.; LOPEZ, P.; DIAS, J.; TARDELLI, C.; BOTELHO, A. L.; AUGUSTO, J. et al. Mechanical performance of 3-dimensionally printed resins compared with conventional and milled resins for the manufacture of occlusal devices: a systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2022.
- GUIMARAES, D. M.; CAMPANER, M.; DOS SANTOS, R. W.; PESQUEIRA, A. A.; DE MEDEIROS, R. A. Evaluation of the mechanical properties of different materials for manufacturing occlusal splints. *Brazilian Oral Research*, v. 37, 2023.
- SCHWEIGER, J.; EDELHOFF, D.; GÜTH, J. F. 3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing. *Journal of Medicine*, 2021.
- ORGEV, A.; LEVON, J. A.; CHU, T. M. G.; MORTON, D.; LIN, W. S. The effects of manufacturing technologies on the surface accuracy of CAD-CAM occlusal splints. *Journal of Prosthodontics*, 2023.
- LAWSON, N. C.; BROWN, P.; HAMDAN, S.; ALFORD, A.; NEJAT, A. H. Wear resistance of 3D printed occlusal device materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2024.
- CRUZ-ARAÚJO, S. R.; SAMPAIO-FERNANDES, M. A.; DE FREITAS, B. N.; SIMIONATO, A. A.; FIGUEIRAL, M. H.; MACEDO, A. P. Accuracy of occlusal splints printed in different orientations by liquid crystal display technology: an in vitro study. *Journal of Dentistry*, 2025.
- WEŻGOWIEC, J.; MAŁYSA, A.; SZLASA, W.; KULBACKA, J.; CHWIŁKOWSKA, A.; ZIĘTEK, M. et al. Biocompatibility of 3D-printed vs. thermoformed and heat-cured intraoral appliances. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 12, 2024.
- VÄYRYNEN, V. O. E.; TANNER, J.; VALLITTU, P. K. The anisotropy of the flexural properties of an occlusal device material processed by stereolithography. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2016.
- MALEKI, T.; MEINEN, J.; COLDEA, A.; REYMUS, M.; EDELHOFF, D.; STAWARCZYK, B. Mechanical and physical properties of splint materials for oral appliances produced by additive, subtractive and conventional manufacturing. *Dental Materials*, v. 40, n. 8, p2024.
- PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, 2021.
- WADA, J.; WADA, K.; GAROUSHI, S.; SHINYA, A.; WAKABAYASHI, N.; IWAMOTO, T. et al. Effect of 3D printing system and post-curing atmosphere on micro- and nano-wear of additive-manufactured occlusal splint materials. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 142, 2023.
- PRPIC, V.; SLACANIN, I.; SCHAUPERL, Z.; CATIC, A.; DULCIC, N.; CIMIC, S. A study of the flexural strength and surface hardness of different materials and technologies for occlusal device fabrication. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2018.
- BIEGER, V.; THIERINGER, F. M.; FISCHER, J.; ROHR, N. Fibroblast behavior on conventionally processed, milled, and printed occlusal device materials with different surface treatments. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2021.
- KOLLMUSS, M.; EDELHOFF, D.; SCHWENDICKE, F.; WUERSCHING, S. N. In vitro cytotoxic and inflammatory response of gingival fibroblasts and oral mucosal keratinocytes to 3D printed oral devices. *Polymers (Basel)*, v. 16, n. 10, 2024.
- Delgado AH, Sauro S, Lima AF, Loguercio AD, Della Bona A, Mazzone A, et al. RoBDEMAT: A risk of bias tool and guideline to support reporting of pre-clinical dental materials research and assessment of systematic reviews. *J Dent*. 2022 Dec 1;127.