

IMPACTO DA AGITAÇÃO DE RESINAS PARA RESTAURAÇÕES DEFINITIVAS NO DESEMPENHO DE POLÍMERO IMPRESSOS EM 3D

FRANCIELLI FERNANDEZ GARCIA¹; ANDERSON ROTUNDO PEREZ²;
JAQUELINE BARBIERI MACHADO³; RAFAEL RATTO DE MORAES⁴

¹*Universidade Federal de Pelotas – francielligarcia18@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – andersontp50@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – jaquelineenalta@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – moraesrr@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, também chamada de impressão 3D, se consolidou como uma abordagem inovadora para a realização de restaurações indiretas, permitindo um controle sobre as características dos materiais utilizados e aprimorando a previsibilidade de tratamentos restauradores. Seu uso na produção de próteses e restaurações definitivas, possibilita uma adequada adaptação marginal (AL WADEI, 2022). Também se destaca por ser uma alternativa promissora para substituir métodos convencionais, pelo bom custo-benefício e eficiência nos processos clínicos.

Assim como restaurações convencionais de resina composta, a durabilidade da restauração definitiva impressa em 3D, relaciona-se às suas propriedades mecânicas, como resistência à fratura, módulo de elasticidade e dureza superficial (BOHNER, 2022). Resinas com menor teor de carga, comumente apresentam menor módulo de elasticidade, embora tenham maior tenacidade (AATI, 2021). Para o sucesso clínico desses materiais, a relação entre conteúdo de carga e desempenho mecânico torna-se crítica. Assim como, a exposição a variações térmicas que ocorrem rotineiramente na cavidade bucal durante a alimentação. Alimentos e bebidas frias ou quentes geram sucessivos ciclos de contração e expansão nos materiais restaurados, podendo induzir ao longo do tempo, formação de microtrincas, degradação das propriedades mecânicas e também fadiga estrutural (GONZÁLEZ-LLUCH, 2020). Alguns estudos demonstram que agressão térmica pode reduzir a resistência de resinas impressas em 3D, forçando a importância de investigar quais materiais mantém desempenho satisfatório frente a agressões térmicas (AATI, 2021).

Parâmetros de processamento também afetam significativamente as propriedades das peças, a espessura da camada de impressão, por exemplo, relaciona-se a integridade estrutural da peça (UNKOVSKIY, 2018). Camadas mais finas (como 0,05 mm) tendem a melhorar a coesão entre as camadas, e consequentemente, a resistência mecânica da restauração (REVILLA-LEÓN, 2020). Já as espessuras maiores, diminuem o tempo de impressão, porém podem comprometer a união interlaminar e a resistência final da peça (FARKAS, 2023). A homogeneidade da resina utilizada é um fator crítico de desempenho das peças impressas, pois resinas fotopolimerizáveis para impressão 3D são compostos multifásicos formados por uma matriz orgânica e partículas inorgânicas de carga, e sua distribuição afeta diretamente propriedades mecânicas do material polimerizado. Quando essas resinas são armazenadas, podem sofrer separação de fases por sedimentação das cargas, especialmente nas formulações de partículas mais densas ou em maiores proporções. A separação das fases pode comprometer a uniformidade da composição e, por consequência, às propriedades

mecânicas do material impresso (KOCH, 2020). A agitação manual, embora seja comum na prática clínica, pode ser insuficiente para obter a homogeneidade, especialmente em resinas com partículas mais densas, como as que contém zircônia. Misturadores mecânicos são utilizados e recomendados, mas nem sempre é disponível. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos métodos de agitação (manual e mecânico) e da espessura de camada (50 µm e 100 µm) sobre as propriedades mecânicas de resinas 3D, sendo importantes para garantir a consistência do material impresso sem comprometer a qualidade final.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se duas resinas odontológicas fotopolimerizáveis específicas para impressão 3D e indicadas para restaurações definitivas: VarseoSmile Crown Plus da empresa Bego e Biocrown da empresa MakerechLabs. Para o preparo dos espécimes, conduziu-se um teste de calibração da impressora para cada uma das resinas, ajustando os parâmetros de exposição de luz da impressão para compatibilizar com as características de fotopolimerização específica de cada material, utilizou-se um arquivo de calibração disponível pelo fabricante Makertech Labs. Para homogeneização, utilizou-se um misturador de resinas 3D Smartdent. Cada resina possuía um tempo de homogeneização padrão conforme o fabricante denominava, 40 minutos (Resina Biocrown) e 5 minutos (resina Varseo Smi0le Crown Plus), e também se agitou de forma vigorosa manual por 30 segundos.

Foram produzidos 20 espécimes com espessura de camada de impressão de 50 µm e 20 espécimes com 100 µm para cada método de agitação (mecânica e manual). Os espécimes de manufatura aditiva foram projetados utilizando o software específico "Autodesk Meshmixer" e posteriormente processados no software de fatiamento Chitobox. Cada grupo foi composto por 20 amostras, das quais 10 foram submetidas ao envelhecimento térmico por termociclagem (para simular condições intraorais prolongadas) e 10 sem envelhecimento. Totalizando 80 corpos de prova para cada uma das quatro resinas testadas, com diferentes combinações das variáveis. Os espécimes foram submetidos aos ensaios de resistência à tração diametral e de microdureza Vickers. A análise estatística foi conduzida no software Jamovi, utilizando ANOVA 3-way e teste de comparações múltiplas de Student–Newman–Keuls ($\alpha = 0,05$) para os resultados de tração diametral e análise Weibull para os resultados de microdureza.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como fator determinante das propriedades mecânicas e para análise estatística conduzida por meio da ANOVA 3-way, o tipo de resina exerceu maior influência quando comparado à espessura da camada e método de agitação, com ou sem envelhecimento térmico. A resina Varseo Smile Crown Plus mostrou valores superiores de módulo de elasticidade em todas as condições, indicando maior rigidez estrutural, sendo estatisticamente superior à BioCrown. Já os fatores agitação e espessura de camada, bem como suas interações, não influenciaram significativamente esse desfecho em nenhuma das condições avaliadas ($p > 0,05$).

Para a resistência à compressão diametral, os resultados foram mais complexos, observou-se que sem envelhecimento térmico, houve interação significativa entre os fatores resina e espessura de camada ($p = 0,030$). O fator agitação, não apresentou influência estatisticamente significativa. A resina BioCrown mostrou maior resistência à compressão diametral, sugerindo maior

capacidade de dissipar tensões antes da fratura. Esse efeito foi mais evidente na espessura de camada de 100 µm, seguida pela 50 µm, ambas sendo superiores aos grupos Varseo Smile Crown Plus 100 µm e 50 µm, que não diferiram estatisticamente entre si. Tais resultados podem estar relacionados à sua menor rigidez e maior tenacidade da Biocrown, características que conferem ao material capacidade maior de suportar deformações antes de fraturar. Clinicamente, pode ser vantajoso em regiões sujeitas a cargas mastigatórias não axiais, como forças de cisalhamento geradas por movimentos excursivos da mandíbula (lateralidade ou protusão) ou impactos oblíquos nas cúspides durante a mastigação, especialmente em áreas de menor espessura de material restaurador (PRAUSE et al., 2024).

O modo de fratura também apresentou diferenças visuais relevantes. As amostras da resina Varseo Smile Crown Plus exibiram fratura frágil e abrupta, sendo comportamento típico de materiais com alta carga inorgânica, que apesar da elevada rigidez tendem a fraturar sem deformação prévia ao atingirem limite elástico (FERRACANE; CONDON, 1992). Em contraste, a BioCrown demonstrou deformação plástica antes da fratura, absorvendo parte da tensão através de deformação, o que indica maior ductibilidade. Esses achados sugerem que a resina Varseo Smile Crown Plus possui menor tenacidade e resistência mecânica, sendo mais frágil frente à carga compressiva.

Na análise de microdureza Vickers, observaram-se variações significativas em função do material, espessura da camada e envelhecimento térmico. Naqueles grupos sem envelhecimento, a Varseo Smile Crown Plus atingiu médias de dureza estatisticamente superiores às da resina Biocrown ($p < 0,05$). Após o envelhecimento térmico, todos grupos tiveram decréscimo significativo na dureza ($p < 0,05$), mais acentuada na BioCrown. A análise de Weibull revelou diferenças no parâmetro *Shape*, afetando a uniformidade das amostras avaliadas. Sem envelhecimento, a resina Biocrown teve maior homogeneidade, principalmente na espessura de 100µm. Após o envelhecimento térmico, no grupo Varseo foi observado maior dispersão, com uma redução geral no parâmetro *Shape*. Embora menos acentuada, Biocrown também obteve redução da homogeneidade. Em relação a técnica da agitação, não foram verificadas diferenças significativas.

Quando considerada a influência da agitação, a BioCrown apresentou melhor desempenho quando associada à agitação mecânica e à espessura de 100 µm. Já a resina Varseo Smile Crown Plus mostrou-se mais suscetível a variações, com reduções mais acentuadas nos valores de resistência a compressão diametral, especialmente quando submetida à agitação manual. Tais achados sugerem que o desempenho dos materiais é influenciado pela interação entre propriedades intrínsecas e parâmetros de processamento, como tipo de agitação e espessura da camada de impressão. Em concordância com os achados de Aati et al. (2021), observou-se que a termociclagem acelera a degradação de polímeros restauradores e evidencia falhas relacionadas à dispersão desigual de cargas.

4. CONCLUSÕES

O fator predominante no desempenho mecânico foi o tipo de resina, gerando maior influência do que a variação na espessura de camada ou o método de agitação. A resina Varseo Smile Crown Plus exibiu maior rigidez estrutural, enquanto a BioCrown se destacou pela capacidade de deformar antes da fratura, absorvendo melhor as tensões. Mesmo após o envelhecimento dessas, se mantiveram estáveis, com boa estabilidade das propriedades de dureza. A equivalência entre os métodos de agitação abre espaço para a adoção da técnica

manual como alternativa mais ágil e prática na rotina do dentista, sem prejuízo ao desempenho dos materiais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AATI, Sultan et al. Development of 3D printed resin reinforced with modified ZrO₂ nanoparticles for long-term provisional dental restorations. *Dental Materials*, Amsterdam, v. 37, n. 6, p. e360-e374, 2021.

AL WADEI, Muhammed H. et al. Marginal and internal fit of provisional restorations fabricated using 3D printing, CAD/CAM milling, and conventional techniques: A systematic review and meta-analysis. *Coatings*, Basel, v. 12, n. 11, p. 1777, 2022.

BOHNER, Lucas; SCHMIDLIN, Patrick R.; BORTOLIN, Marilia T. et al. Compressive and flexural strength of 3D-printed and conventional resin-based composite materials. *Polymers*, Basel, v. 14, n. 23, p. 5234, 2022.

FARKAS, Andrei Zoltan; GALATANU, Sergiu-Valentin; NAGIB, Riham. The influence of printing layer thickness and orientation on the mechanical properties of DLP 3D-printed dental resin. *Polymers*, New York, v. 15, n. 5, p. 1113, 2023.

FERRACANE, J. L.; CONDON, J. R. Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. *Dental Materials*, Copenhagen, v. 8, n. 5, p. 290–295, Sep. 1992.

GONZÁLEZ-LLUCH, Carmen et al. Effect of thermocycling on mechanical properties of resin-based dental materials: A review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Amsterdam, v. 110, p. 103932, 2020.

KOCH, S. C.; MATTAR, M.; CAMPOS VELO, A.; et al. Physical and surface properties of a 3D-printed composite resin for a digital workflow. *Journal of Prosthetic Dentistry*, St. Louis, v. 124, n. 5, p. 614.e1-614.e5, 2020.

PRAUSE, E. et al. Mechanical properties of 3D-printed and milled composite resins for definitive restorations: an in vitro comparison of initial strength and fatigue behavior. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, v. 36, n. 2, p. 391–401, 2024.

REVILLA-LEÓN, M.; MEINERTZ, J.; KRUG, R.; et al. Evaluation of the impact of layer thickness on the mechanical properties and dimensional accuracy of 3D-printed dental materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, St. Louis, v. 124, n. 4, p. 582-589, 2020.

UNKOVSKIY, A.; BUI, P. H.; SCHILLE, C. et al. Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereolithographically printed resin. *Dental Materials*, Amsterdam, v. 34, n. 12, p. e324-e333, 2018.