



Influência do posicionamento na plataforma de pós cura no comportamento mecânico e óptico de objetos manufaturados por impressão 3D

Palavras-Chave: Impressão tridimensional; Polimerização; Materiais dentários.

Autores(as):

André Ferreira Rios, FOP-Unicamp

Vanessa Dias Barboza Munhoz, FOP-Unicamp

Isabella Ribeiro do Valle de Paiva, FOP-Unicamp

May Anny Alves Fraga, FOP-Unicamp

Ulysses de Toledo Monteiro, FOP-Unicamp

Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho, FOP-Unicamp

Prof. Dr. Américo Bortolazzo Correr (orientador), FOP-Unicamp

1. INTRODUÇÃO:

Para objetos impressos 3D a partir de resina líquida, a etapa de pós-cura influencia o grau de polimerização e conseqüentemente as propriedades mecânicas do mesmo (McCarty *et al.*, 2020). Durante o processo de pós-polimerização, o objeto impresso é posicionado sobre uma placa circular rotatória em uma câmara, recebendo irradiação luminosa constante (McCarty *et al.*, 2020). Na maioria dos equipamentos de pós-cura presentes no mercado atualmente, a luz é emitida por LEDs posicionados em uma fonte estática, em forma de barra vertical, que tangencia a placa rotatória. Dessa forma, o posicionamento do objeto na plataforma de pós-cura pode influenciar na distância entre o mesmo e a fonte emissora de luz, de forma que, quanto maior a distância entre um artefato e a fonte de luz, menor será a incidência luminosa sobre ele (Prati *et al.*, 2018).

Outro fator relacionado à fonte emissora de luz fixa, seria a possibilidade de polimerização heterogênea entre as diferentes faces de um corpo. Espera-se que em objetos posicionados próximos à borda da plataforma, a face voltada para o centro seja exposta à luz por um período maior em comparação com a face voltada para a fonte de luz, que será exposta somente nos momentos em que o objeto se aproximar da fonte emissora. Entretanto, a literatura ainda carece de esclarecimentos a respeito da influência desse fator na eficiência da pós-cura, bem como nas propriedades mecânicas e ópticas que interferem no desempenho de objetos manufaturados por impressão 3D.

2. METODOLOGIA:

2.1 Desenho do estudo

Foram avaliados dois fatores, sendo o posicionamento dos espécimes em diferentes regiões da plataforma de pós cura em três níveis: 1) no centro, 2) na região intermediária e 3) próximo à borda; e o fator posição da face do espécime, em relação à fonte de luz da câmara de pós cura, em dois níveis: A) face voltada para a fonte de luz e B) face oposta à fonte de luz.

2.2 Desenho e impressão dos espécimes em 3D

Através do software Lychee Slicer, foi realizado o desenho dos espécimes com dimensões de 24 x 5 x 2,5 mm, com entalhe de 0,4 mm de espessura por 2,5 mm de altura, na região central do corpo. Todos os espécimes foram manufacturados utilizando a impressora LCD Anycubic Photon Mono X e a resina Prizma 3D Bio Prov (PRI, Makertech Labs, Tatuí, SP, Brazil), com espessura de camada de 50µm. Posteriormente à impressão, os espécimes foram lavados por 5 minutos com álcool isopropílico, na câmara lavagem (Wash and Cure Creality UW-02, Creality, Shenzhen, China), seguindo as recomendações do fabricante. Para o procedimento de pós-cura, os espécimes foram dispostos na plataforma giratória da câmara de pós-cura (Wash and Cure Creality UW-02, Creality, Shenzhen, China) de acordo os respectivos grupos amostrais: Grupo Centro: espécimes posicionados no centro da plataforma; Grupo Intermediário: espécimes posicionados na região intermediária da plataforma e Grupo Borda: espécimes posicionados próximos à borda da plataforma. Em todos os espécimes de cada grupo, a face voltada para a fonte de luz foi identificada como A e a face oposta à fonte de luz foi identificada como B (Figura 1).

Após o processo de pós-cura, os espécimes foram submetidos à planificação com lixas de granulação #1200 e #2000 (politriz/lixadeira metalográfica Aeropol VV200-PU- Arotec S/A Indústria e Comércio), seguido pelo polimento com uma sequência de suspensões de pastas diamantadas, discos de feltro (MetaDi Monocrystalline Diamond Suspension-Buehler) e armazenados em ambiente seco e escuro a 37°C por 24 horas.

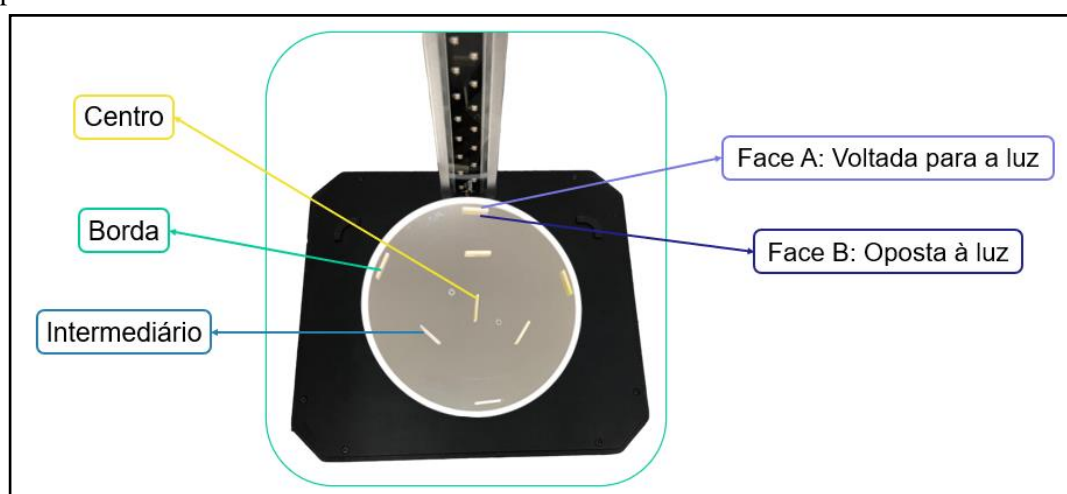


Figura 1 – Representação esquemática do delineamento experimental dos grupos em estudo, de acordo com os fatores posicionamento na plataforma e posição da face em relação à fonte de luz.

2.3 Tenacidade à fratura (n=10)

O teste de tenacidade à fratura foi realizado utilizando um dispositivo para ensaio de flexão de 3 pontos, de acordo com a norma ISO 20795, apresentando 20 mm de distância entre os apoios, acoplado a uma máquina de ensaio universal (Instron Model 4411, Instron Corp., Canton, Ma, EUA), com velocidade de carregamento de 1 mm/min. A força máxima registrada foi utilizada para determinar a tenacidade à fratura (K_{Ic}).

2.4 Rugosidade superficial (n=10)

As amostras foram analisadas quanto a rugosidade superficial, antes e após o ensaio de escovação simulada de 5.000 ciclos (equivalente a 6 meses de escovação) (Máquina de escovação XY, Biopdi, São Carlos, SP), com

mistura de dentífrico (Colgate total 12) e água destilada, na proporção de 1:1. As cerdas das escovas (Oral B Dental Indicator Plus 30) foram posicionadas com carga estática axial de 200 gf sobre os espécimes, com velocidade de 2,5 movimentos/segundo. A avaliação da rugosidade foi realizada em rugosímetro (Surfcorder SE 1700, Kosaka Laboratory), com velocidade de 1 mm/s, 0,25 mm cut off e comprimento de leitura de 4,5 mm. Foram realizadas três leituras em diferentes direções (vertical, horizontal e diagonal) e calculada a rugosidade média por espécime.

2.5 Alteração de cor (n=10)

Os espécimes foram analisados quanto a alteração de cor em espectrofotômetro digital (VITA Easyshade® Advance V, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany). Foram registradas as medições de cada espécime antes e após o envelhecimento através do método acelerado em luz ultravioleta (UV-B 313 nm, Equilam, Diadema, SP, Brazil) durante 240 horas a 37°C (adaptado ISO 7491: 2000). A estabilidade de cor foi determinada pela diferença (ΔE_{00}), por meio da fórmula CIEDE2000 (CIE, 2004).

2.6 Microdureza (n=10)

Foi utilizado o microdurômetro (Shimadzu HMV – 2000), com indentador tipo Knoop, com carga estática de 25 gf por 5 segundos. Três indentações foram realizadas, com 200 μ m de distância entre elas, em ambas as faces (A e B) dos espécimes de cada grupo testado.

2.7 Análise estatística

Os dados foram avaliados quanto à normalidade e homoscedasticidade por meio dos testes Shapiro-Wilk e Levene respectivamente. Em seguida, para os testes de tenacidade à fratura e alteração de cor, os dados foram analisados através de ANOVA. Já para o teste de rugosidade foi realizado o teste ANOVA de medidas repetidas, e para o teste de microdureza foi realizado ANOVA a 2 critérios. Nos casos em que foi constatada diferença entre os grupos procedeu-se o teste de Tukey, com nível de significância de 5%

3. RESULTADOS:

Todos os dados apresentaram normalidade e distribuição homogênea.

3.1 Tenacidade à fratura

A análise de variâncias e o teste de Tukey evidenciaram que o grupo intermediário apresentou valores superiores em relação aos grupos borda e centro ($p=0,03$).

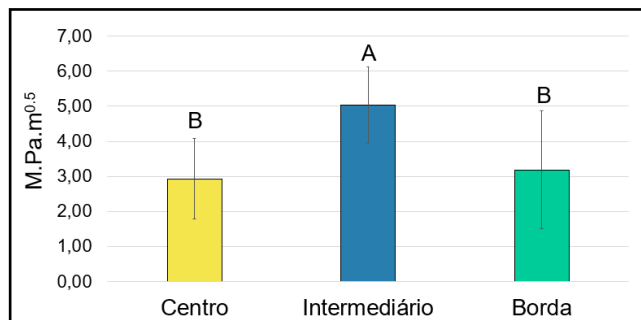


Figura 2: Média e desvio padrão dos valores de tenacidade à fratura. Letras maiúsculas diferentes representam diferenças entre os grupos.

3.2 Microdureza

Não houve diferenças estatísticas entre os grupos Centro ($p=0,053$), Intermediário ($p=0,512$) e Borda ($p=0,685$), com relação aos resultados do teste microdureza Knoop.

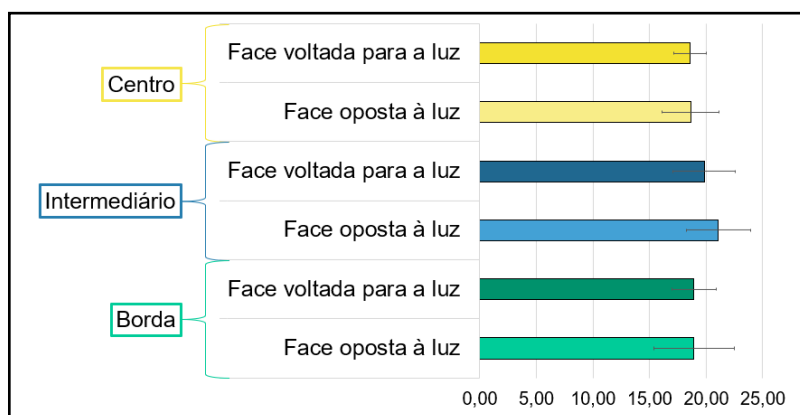


Figura 3: Média e desvio padrão dos valores de microdureza Knoop (KHN). Não houve diferença significativa entre os grupos.

3.3 Rugosidade Superficial

O posicionamento dos espécimes não alterou significativamente a rugosidade da resina impressa por manufatura aditiva ($p=0,067$).

Tabela 1: Média e desvio padrão dos valores de rugosidade superficial iniciais e após 5000 ciclos de escovação simulada. Não houve diferença significativa entre os grupos.

Grupos	Ra inicial	Ra após 5.000 ciclos de escovação simulada	Varição de Ra
Centro	0,079 ± 0,013 μm	0,077 ± 0,007 μm	-0,002 (-2,5%)
Intermediário	0,074 ± 0,009 μm	0,080 ± 0,005 μm	0,006 (8,1%)
Borda	0,083 ± 0,011 μm	0,083 ± 0,006 μm	0,000 (0,0%)

3.4 Alteração de cor

Após o envelhecimento de 240 horas dos espécimes, não houve diferença significativa entre os grupos ($p=0,113$).

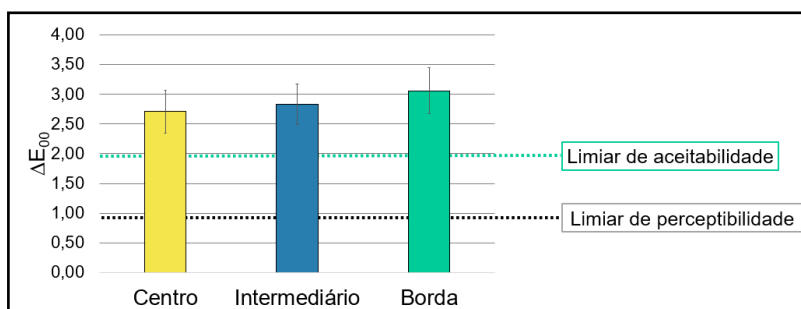


Figura 4: Alteração de cor média (ΔE_{00}) após 240 horas de envelhecimento acelerado em câmara de luz ultravioleta. Não houve diferença significativa entre os grupos.

4. DISCUSSÃO:

Este estudo avaliou o efeito do posicionamento de espécimes manufaturados por impressão 3D em diferentes regiões da plataforma da câmara de pós cura, nas propriedades mecânicas (tenacidade à fratura e microdureza), alteração de cor e rugosidade. No teste de tenacidade à fratura, o grupo intermediário apresentou resultados significativamente superiores em relação aos grupos borda e centro. É plausível considerar que o posicionamento das amostras na região intermediária da plataforma possivelmente proporcionou melhor distribuição de luz em toda a superfície do objeto impresso, permitindo um processo de pós cura mais eficiente e uniforme, aumentando o grau de conversão (GC) e a densidade de reticulação, através da formação de ligações cruzadas na superfície das amostras, proporcionando maior resistência à propagação de trincas nos espécimes desse grupo (Calheiros *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2022).

Apesar de os resultados de tenacidade indicarem maior conversão na superfície das amostras do grupo intermediário, essa diferença não foi evidenciada através dos resultados do teste de rugosidade, no qual não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos avaliados. No entanto, é possível que o teste de rugosidade não tenha apresentado sensibilidade suficiente para constatar tais diferenças. Além disso, as evidências obtidas por meio do teste de tenacidade são consideradas indicadores mais relevantes para a performance clínica, já que materiais com maior tenacidade tendem a ser mais resistentes a fraturas, o que é crucial para a longevidade de restaurações odontológicas (Ilie *et al.*, 2012).

Com relação aos resultados do teste de microdureza, a diferença do posicionamento dos espécimes na plataforma giratória entre os grupos testados não foi suficiente para promover uma variação significativa na exposição à luz UV de forma determinante para influenciar os valores dessa propriedade. Levando em consideração o baixo poder de penetração da luz ultravioleta (Rueggeberg *et al.*, 1993) é possível que a melhor distribuição de luz na região intermediária da plataforma, tenha atingido somente a região superficial dos corpos de prova desse grupo. Dessa forma, as camadas do espécime atingidas durante a penetração do indentedor no teste de microdureza não teriam sido beneficiadas pela melhor distribuição de luz na região intermediária da plataforma, justificando a ausência de diferenças entre os grupos nesse teste.

No que se refere ao teste de alteração de cor, de acordo com os resultados, após o processo de envelhecimento artificial acelerado, em câmara de luz UV-B com 313 nm, os espécimes de todos os grupos avaliados apresentaram alteração de cor similar entre si e acima do limiar de aceitabilidade. Esses resultados estão de acordo com a literatura, já que a exposição de corpos de natureza polimérica à luz UV pode desencadear processos de degradação fotoquímica, na qual a luz promove a quebra de ligações nas cadeias poliméricas, gerando radicais livres e resultando na formação de cromóforos de coloração amarelada (Conradie *et al.*, 2020). Assim, apesar de a ação da luz UV-B ser considerada superficial, os radicais livres formados podem induzir reações oxidativas em cadeia por todo o espécime, atingindo regiões internas do corpo, que possivelmente receberam a mesma irradiação luminosa, independentemente de seu posicionamento na plataforma, reforçando os resultados demonstrados também no ensaio de microdureza.

5. CONCLUSÃO

O posicionamento na região intermediária da plataforma de pós-cura melhorou a tenacidade à fratura, sem promover alteração da microdureza, rugosidade e estabilidade de cor.

6. Referências bibliográficas

1. Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Degree of conversion and mechanical properties of a BisGMA:TEGDMA composite as a function of the applied radiant exposure. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008 Feb;84(2):503-9. doi: 10.1002/jbm.b.30897.
2. Conradie, Willem Johannes. Investigating the physicochemical property changes of plastic packaging material exposed to UV radiation. 2020. Tese de Doutorado. Stellenbosch: Stellenbosch University.
3. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater.* 1985 Feb;1(1):11-4. doi: 10.1016/S0109-5641(85)80058-0.
4. Ilie N, Hickel R, Valceanu AS, Huth KC. Fracture toughness of dental restorative materials. *Clinical Oral Investigations.* v. 16, p. 489-498, 2012.
5. Kang MJ, Lim JH, Lee CG, Kim JE. Effects of Post-Curing Light Intensity on the Mechanical Properties and Three-Dimensional Printing Accuracy of Interim Dental Material. *Materials (Basel).* 2022 Oct 4;15(19):6889. doi: 10.3390/ma15196889.
6. McCarty MC, Chen SJ, English JD, Kasper F. Effect of print orientation and 30 duration of ultraviolet curing on the dimensional accuracy of a 3-dimensionally printed orthodontic clear aligner design. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2020 Dec;158(6):889-97.
7. Prati C, Chersoni S, Montebugnoli L, Montanari G. Effect of air, dentin and resin-based composite thickness on light intensity reduction. *Am J Dent* 1999; 12:231-234.
8. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent.* 1993 Apr;6(2):91-5.