

NOVO SISTEMA DE AUTORREPARO PARA RESTAURAÇÕES DENTÁRIAS

JULIANNE BARTZ MAASS¹; ANDRESSA GOICOCHEA MOREIRA²; CARLOS ENRIQUE CUEVAS-SUÁREZ³; JULIANA SILVA RIBEIRO⁴; MARCO CÍCERO BOTTINO⁵; EVANDRO PIVA⁶; RAFAEL RATTO DE MORAES⁷; GIANA DA SILVEIRA LIMA⁸

¹Universidade Federal de Pelotas – julianne.maass@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – andressagoicocheaa@gmail.com

³Universidade Autônoma do Estado de Hidalgo – carlosecsuarez@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – jujusilvaribeiro@gmail.com

⁵Universidade de Michigan – mbottino@umich.edu

⁶Universidade Federal de Pelotas – evpiva@gmail.com

⁷Universidade Federal de Pelotas – moraesrr@gmail.com

⁸Universidade Federal de Pelotas – gianalima@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A restauração dentária é uma maneira de fazer com que o dente afetado por cárie, ou que tenha sofrido algum dano em sua estrutura, retorne a sua forma e função originais. Embora as restaurações em resina composta tenham demonstrado desempenho satisfatório nos dentes posteriores e anteriores, estudos clínicos apontam que as fraturas são uma das principais causas de falhas (RODOLPHO et al., 2011). Uma série de fatores, incluindo a mastigação e os hábitos de higiene podem afetar a longevidade da restauração, causando defeitos nas margens e deterioração do material, o que pode levar a possíveis falhas e até mesmo à substituição (FERRACANE, 2013). O ciclo restaurador repetitivo tem como consequência o enfraquecimento da estrutura dental, causado pela inevitável perda de tecido dental sadio (BLUM et al., 2011).

Considerando que as resinas compostas têm ampla aplicação clínica e que os procedimentos clínicos em que são utilizadas dependem das propriedades mecânicas e do desempenho a longo prazo, o desenvolvimento contínuo de materiais restauradores é importante (FERRACANE, 2011). Nesse sentido, a melhoria das propriedades desses materiais, entre outros fatores, deve priorizar uma redução na ocorrência de fraturas. Estudos recentes demonstraram o desenvolvimento de materiais poliméricos com capacidade de autorreparo, apresentando um desempenho de 25% a 80% de taxa de recuperação após uma fratura (ALTHAQAFI et al., 2019).

Portanto, o objetivo deste estudo foi desenvolver um novo sistema de autorreparo, baseado em microcápsulas reparadoras, para restaurações dentárias.

2. METODOLOGIA

As cápsulas foram preparadas com os seguintes monômeros e moduladores de polimerização: TC_{DHEPT} (TEGDMA+DHEPT), BTC_{DHEPT} (BisGMA+DHEPT) e BTC_{BPO} (Bis-GMA+TEGDMA+BPO). Em seguida, foram analisadas por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) (WU et al., 2016).

As resinas compostas fotopolimerizáveis experimentais foram formuladas utilizando Bis-GMA e TEGDMA na matriz orgânica. Como fotoiniciador, foi utilizado 1% de fotoiniciador óxido fenilbis(2,4,6-trimetilbenzoil)-fosfina (BAPO). Como fase inorgânica, foram adicionadas 35% de partículas de vidro de boroaluminossilicato de bário. As diferentes cápsulas reparadoras foram adicionadas às resinas compostas experimentais em uma concentração de 7,5%

e uma resina composta sem a adição de cápsulas foi usada como controle, resultando nos seguintes grupos: (I) ER (controle sem cápsulas), (II) ER + BPO + TCD_{DHEPT}, (III) ER + BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT}. Para fins comparativos, uma resina composta comercial foi usada como referência (Filtek Z250, 3M ESPE).

O grau de conversão (GC) foi avaliado utilizando um FTIR (Prestige21; Shimadzu, Tóquio Japão). A resistência à flexão (σ_f) e o módulo de elasticidade (E_f) dos materiais foram avaliados através de um teste de flexão de três pontos em uma máquina de ensaios universal (DL500, EMIC, São José dos Pinhais, PR) (ISO 4049:2009). A tenacidade à fratura (K_{IC}) foi determinada usando o método “barra entalhada de borda única”, onde as amostras foram posicionadas com o entalhe oposto à aplicação da carga e a resistência à fratura foi calculada (K_{IC} inicial). Imediatamente após a fratura, as duas metades da amostra foram inseridas em um molde de silicone, para garantir um íntimo contato entre suas faces, permitindo que o líquido liberado da cápsula reparasse a fenda formada. Em seguida, a amostra reparada foi testada novamente usando o mesmo método de flexão (K_{IC} final). A eficiência do autorreparo (η) foi avaliada através da equação: $\eta = K_{IC}$ final / K_{IC} inicial. A superfície reparada e refraturada dos espécimes do grupo ER + BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT} foi examinada em MEV (WU, et al., 2016). A análise estatística foi realizada considerando o valor de significância de $p < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observados picos característicos no espectro FTIR correspondentes às ligações poliméricas que formam a superfície da cápsula: 3300 cm⁻¹ NH (amina), 1710 cm⁻¹ C = O (carbonila), 1500 cm⁻¹ CN (nitrila). A ausência de bandas características do grupo metacrilato demonstra que não há BisGMA ou TEGDMA na superfície da cápsula, somente em seu interior, comprovando o sucesso do processo de encapsulação. No espectro de FTIR do conteúdo das cápsulas de reparo, a presença da banda em 1638 cm⁻¹, atribuída à vibração C=C do grupo metacrilato, indica que o BisGMA e TEGDMA foram encapsulados com sucesso. A redução na absorvância desta banda, após 24 h, significou que ocorreu polimerização pela ruptura das ligações C=C. O grau de conversão (Média ± DP) para o grupo TC_{DHEPT} foi de 69,57 ± 1,84%, e para o BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT} foi de 60,00 ± 0,83%. As diferenças observadas foram estatisticamente significantes ($p=0,001$).

Na Figura 1A, é possível observar MEV de cápsulas esmagadas entre duas lâminas de vidro, mostrando o líquido polimerizável que extravaza quando as cápsulas são rompidas. A imagem da Figura 1B mostra a superfície externa das cápsulas, que foram medidas e apresentaram um diâmetro médio de 118,0 ± 21,0 nm, provando que a adição de BisGMA e BPO no líquido de autorreparo não comprometeu a formação da superfície da cápsula e não influenciou diretamente no aumento do tamanho e na sua superfície. O processo de autorreparo depende diretamente da ruptura das cápsulas incorporadas nos compósitos (WU et al., 2016).

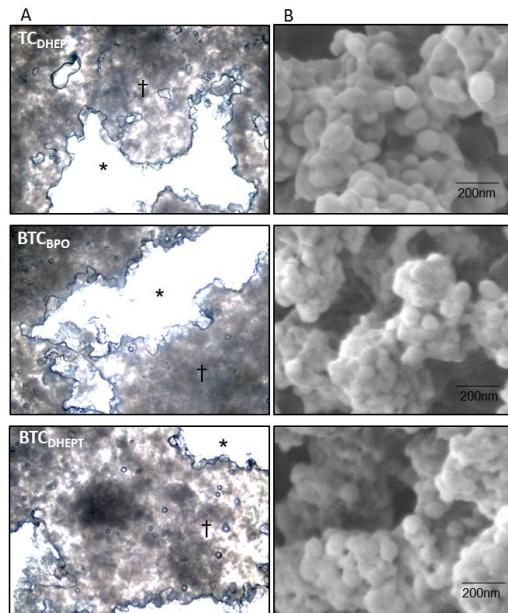


Figura 1 – (A) Cápsulas trituradas mostrando os filmes líquidos de reparo liberados (B) imagem de microscopia eletrônica de varredura * Agente de autorreparo liberado † cápsula esmagada

Com relação ao GC, as diferenças observadas entre os materiais experimentais não foram estatisticamente significantes, com uma média de $67,69 \pm 2,30\%$ entre os grupos experimentais e $51,06 \pm 1,59\%$ para a resina comercial. Da mesma forma, a análise estatística mostrou que o of não foi afetado pela incorporação das cápsulas reparadoras nas resinas experimentais ($p>0,05$). Quando comparado com a Filtek Z350, apenas o grupo ER + BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT} apresentou valores de of estatisticamente semelhantes ($p = 0,126$). As diferenças no Ef não foram estatisticamente significantes entre os grupos experimentais. A manutenção das propriedades mecânicas, após adição das cápsulas reparadoras, favorece um desempenho clínico adequado dos materiais, uma vez que a resistência à flexão está correlacionada com o desgaste clínico (HEINTZE et al., 2017).

A adição de cápsulas reparadoras nos compósitos experimentais não alterou os valores de K_{Ic} inicial ($p>0,05$), demonstrando que estas não interferem nas propriedades mecânicas do polímero. No que diz respeito ao K_{Ic} final, os valores do grupo ER + TC_{DHEPT} foram estatisticamente superiores aos do grupo ER + BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT} ($p < 0,001$). Já Filtek Z350 e ER apresentaram resultados iguais a 0, revelando a inexistência do autorreparo. A eficiência de autorreparo foi de $52,5 \pm 0,05\%$ para o grupo ER + TC_{DHEPT}, enquanto no grupo ER + BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT} foi de $22,1 \pm 0,08\%$.

A Figura 2 mostra uma micrografia da superfície reparada e refraturada da amostra de resina, exibindo a presença de filmes de polímeros (apontados pelas setas) que foram formados após a avaliação da tenacidade à fratura (K_{Ic}) e do teste de eficiência de autorreparo no grupo ER + BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT}.

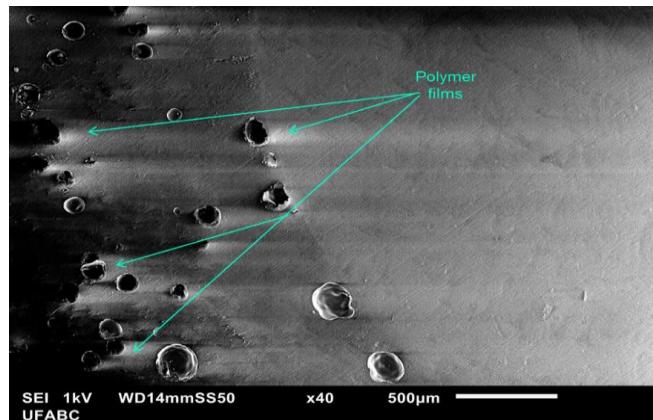


Figura 2 - Imagens SEM representativas da superfície reparada e refraturada da amostra de resina microcápsulas ER + BTC_{BPO} + BTC_{DHEPT}, exibindo a presença de filmes líquidos de reparo liberados e polymerizados.

4. CONCLUSÕES

Um novo sistema de autorreparo de resinas compostas foi desenvolvido. Os resultados demonstraram que o uso de sistema contendo cápsulas de BisGMA-TEGDMA foi eficaz para promover o reparo de trincas no material. Estudos analisando o envelhecimento do material após o processo de autorreparo são necessários para demonstrar a eficácia desse sistema.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTHAQAFI, K.A.; SATTERTHWAITE, J.; SILIKAS, N. A review and current state of autonomic self-healing microcapsules-based dental resin composites., **Dent. Mater.** v.36, p. 329-342, 2019.
- BLUM, I.R.; JAGGER, D.C.; WILSON, N.H.F. Defective dental restorations: to repair or not to repair? Part 1: direct composite restorations, **Dent. Update.** v.38 p.78–84, 2011.
- FERRACANE, J.L. Resin-based composite performance: are there some things we can't predict?, **Dent. Mater.** v.29, p. 51–58, 2013.
- FERRACANE, J.L. Resin composite--state of the art, **Dent. Mater.** v.27, p. 29-38, 2011.
- HEINTZE, S.D.; ILIE, N.; HICKEL, R.; Reis, A.; Loguercio, A.; Rousson, V. Laboratory mechanical parameters of composite resins and their relation to fractures and wear in clinical trials-A systematic review. **Dent. Mater.** v.33, 2017
- RODOLPHO, P.A.R.; DONASSOLLO, T.A.; CENCI, M.S.; LOGUÉRCIO, A.D.; MORAES, R.R.; BRONKHORST, E.M.; OPDAM, N.J.M.; DEMARCO, F.F. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics, **Dent. Mater.** v.27, p. 955–963, 2011.
- S. International Organization for, ISO 4049:2009 Dentistry Polymer based restorative materials, 2009.
- WU, J.; WEIR, M.D.; ZHANG, Q.; ZHOU, C.; MELO, M.A.S.; XU, H.H.K. Novel self-healing dental resin with microcapsules of polymerizable triethylene glycol dimethacrylate and N,N-dihydroxyethyl-p-toluidine, **Dent. Mater.** v32, p.294–304, 2016.