

AValiação de Materiais Bioativos Frente a um Modelo de Biofilme Cariogênico *in vitro*

GABRIELA DA SILVA BITTENCOURT DA CRUZ¹; JULIANA SILVA RIBEIRO DE ANDRADE²; LUÍSA FIGUEIREDO DE CARVALHO³; TAMIRES TIMM MASKE⁴; GLENDA ÁVILA MARQUES⁵; RAFAEL GUERRA LUND⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – gbittencourt.002@gmail.com

²Universidade Federal de Santa Catarina - sribeirooj@gmail.com

³Universidade Federal de Santa Catarina - carvalho.luisaf@gmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul – tamirestmaske@gmail.com

⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul – glena_a.marques@hotmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas– rafael.lund@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por odontologia minimamente invasiva tem impulsionado avanços contínuos em compósitos de resina e sistemas adesivos, não apenas para restaurar a função dental, mas também para promover a regeneração tecidual e aumentar a longevidade das restaurações (Iftikhar et al., 2021; Almulhim et al., 2022; Costa et al., 2024).

Sabe-se que as doenças bucais, como a cárie, representam um problema de saúde pública, sendo o biofilme cariogênico seu principal agente etiológico, assim fazendo com que a busca por materiais dentários bioativos, regenerativos e com propriedades antimicrobianas surjam como área de grande interesse na pesquisa, particularmente aqueles que induzam a biomineralização através da liberação de íons (Perdigão, 2020; Melo et al., 2022).

Diante disso, o presente trabalho investigou o comportamento de materiais restauradores bioativos, como adesivos e compósitos contendo partículas S-PRG (Shofu), frente a um desafio cariogênico *in vitro*, com o objetivo de avaliar as propriedades desses materiais bioativos, utilizando um modelo de biofilme cariogênico e o teste da hipótese de que não oferecem benefícios protetores superiores aos materiais convencionais frente ao desafio cariogênico.

2. METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foi utilizado um simulador de cavidade oral (MOCS) com objetivo de replicação de um desafio cariogênico *in vitro*. Confeccionou-se amostras de compósitos e adesivos contendo partículas de S-PRG (Beautifil e FL-Bond II) e de materiais restauradores convencionais (Resina Z350 XT e Adesivo Clearfil SE Bond) em moldes. Utilizou-se como grupo controle a resina composta Z350 XT (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) e o sistema adesivo Clearfil SE Bond (Kuraray, Osaka, Japão), baseado em achados da literatura (Fehrenbach et al., 2021; Mézquita-Rodrigo et al., 2021), que reconhecem esses materiais como referências padrão-ouro devido ao seu desempenho clínico e rigor científico. Para os grupos experimentais, foram organizados em 6 agrupamentos: Grupo 1 (LsFI), grupo 2 (LsCI), grupo 3 (BuFI), grupo 4 (BuCI), grupo 5 (XTFI) e grupo 6 (XTCI).

O tamanho da amostra foi estimado em n=6 para cada um dos 6 grupos de pesquisa, totalizando 36 amostras. A escolha de n=6 foi baseada em estudos anteriores e em cálculos estatísticos, considerando um poder de 0,8 e um nível de significância de $\alpha=0,05$.

Para o preparo das amostras, foram utilizados 96 dentes bovinos. Discos de esmalte-dentina foram preparados e restaurações adesivas foram fabricadas, com um operador treinado realizando todas as etapas. O processo de replicação do ambiente de desafio cariogênico foi feito por meio de um Simulador Multifuncional de Cavidade Oral (MOCS), onde o sistema simulou um ambiente de oxigênio controlado para anaerobiose e forneceu fluxos intermitentes de sacarose para estabelecer o desafio cariogênico (Maske et al., 2017).

Foi coletada a saliva de voluntários saudáveis com idade entre 18 e 60 anos com a finalidade de inocular as amostras. Após a indução da cárie, as amostras foram submetidas a diversas análises para avaliar o biofilme e as alterações presentes no substrato, como: Contagem de unidades formadoras de colônias (UFC), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e modificações químicas por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). A análise estatística dos dados foi realizada a partir dos dados coletados por ANOVA, seguida do teste de Tukey, com um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise microbiológica mostram que para todos os microorganismos, incluindo microorganismos totais, *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus spp.* e bactérias acidúricas, não houve redução estatisticamente significativa entre os grupos analisados ($P > 0,05$). Os resultados estão detalhados na figura 1.

Essa conclusão foi reforçada por imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV), que evidenciaram uma formação de biofilme significativa no topo de todas as amostras dos grupos, porém, nenhuma redução substancial no volume do biofilme, sugerindo que a composição dos materiais testados não impactou significativamente a adesão e proliferação microbiana sob as condições experimentais implementadas.

A análise química do substrato por espectroscopia FTIR retifica estes achados, pois, da mesma forma, não apresentou diferenças significativas entre os materiais. Embora uma perda mineral significativa tenha sido observada no esmalte de todos os grupos quando comparada ao esmalte sadio, os materiais bioativos não demonstraram a capacidade de neutralizar a desmineralização. Comparando os diferentes grupos experimentais, observou-se que os materiais bioativos utilizados não promoveram liberação iônica significativa para neutralizar o processo de desmineralização, pois não mantiveram os picos de fosfato e carbonato em níveis semelhantes ao esmalte intacto (Orlisi et al., 2021).

Coletivamente, os dados indicam que os materiais bioativos não conferiram proteção adicional contra o desafio cariogênico aplicado, sendo ainda necessário análises, como de microdureza. Os achados apresentados foram fortemente corroborados por imagens qualitativas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), que não mostraram distinções visuais na formação do biofilme. Os presentes resultados se alinham com revisões sistemáticas recentes, como a de Carvalho et al. (2024), que destaca a falta de vantagens significativas na longevidade da restauração ao comparar materiais restauradores bioativos com compósitos de resina convencionais.

Através disso, pode-se observar a necessidade de preservação da integridade biológica e química da camada híbrida na interface dente-restauração sendo, portanto, crucial para prevenir lesões e aumentar a longevidade restauradora (Gauthier et al., 2021; Wuerschling et al., 2025). Visto isso, por meio da replicação do complexo ambiente da cavidade oral, o presente estudo demonstra que, embora a bioatividade represente um avanço promissor na odontologia restauradora, seu potencial clínico ainda depende da superação de desafios relacionados à liberação eficiente de íons e à manutenção das propriedades mecânicas.

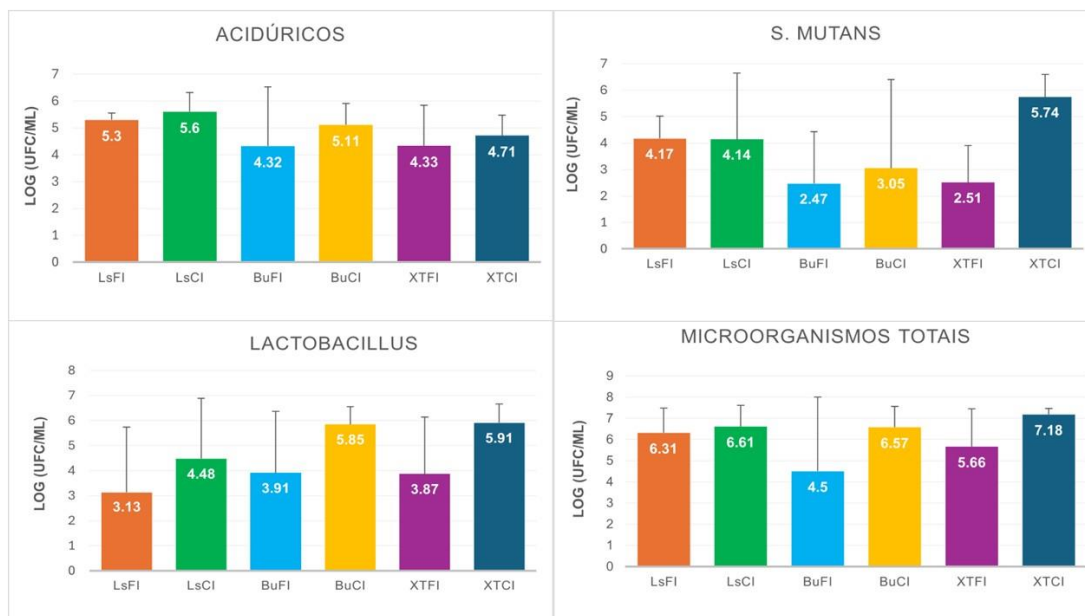


Figura 1: Contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) para cada grupo, avaliado para Microorganismos Totais, *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus* e bactérias acidúricas.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que, nas condições estudadas, o uso de materiais bioativos contendo S-PRG não demonstrou efeito protetor frente ao desafio cariogênico, apresentando um desempenho comparável ao das resinas compostas convencionais, onde a inovação obtida com o trabalho se encontra em demonstrar que, sob as condições testadas, a bioatividade desses materiais não se traduz em um benefício clínico relevante na prevenção da formação de biofilme.

Diante desses resultados, a hipótese nula do estudo — de que os materiais bioativos não seriam superiores aos convencionais — foi confirmada. A ausência de um efeito protetor adicional sugere uma limitação na capacidade desses materiais em modular a formação do biofilme ou em liberar íons de forma sustentada para promover a remineralização do esmalte.

Esses resultados reforçam a necessidade de mais pesquisas sobre as propriedades bioativas de tais materiais para validar sua suposta funcionalidade em aplicações restauradoras e esclarecer seus potenciais benefícios clínicos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMULHIM, K.S.; SYED, M.R.; ALGAHTANI, N.; ALAMOUDI, M.; KHAN, M.; AHMED, S.Z.; KHAN, A.S. Bioactive Inorganic Materials for Dental Applications: A

Narrative Review. **Materials (Basel)**, v. 15, n. 19, p. 6864, 2022.

CARVALHO, L.F.; GIMENES E SILVA, M.; BARBOZA, A.D.S.; BADARÓ, M.M.; STOLF, S.C.; CUEVAS-SUAREZ, C.E.; LUND, R.G., RIBEIRO DE ANDRADE, J.S. Effectiveness of bioactive resin materials in preventing secondary caries and retention loss in direct posterior restorations: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Dentistry**, v. 152, p. 105460, 2025.

COSTA, M. P.; GIACOMINI, M. C.; ZABEU, G. S.; MOSQUIM, V.; DALLAVILLA, G. G.; SANTOS, P. S. D. S.; Wang, L. 2024. Impact of functional monomers, bioactive particles, and HEMA on the adhesive performance of self-etch adhesive systems applied to simulated altered dentin. **Journal of Dentistry**, v. 151, p. 105379, 2024.

FEHRENBACH, J.; ISOLAN, C.P.; MUNCHOW, E. A. Is the presence of 10-MDP associated with higher bonding performance for self-etching adhesive systems? A meta-analysis of in vitro studies. **Dental Materials**, v. 37, n. 10, p. 1463-1485, 2021.

GAUTHIER, R.; ABOULLEIL, H.; CHENAL, J.M.; CHEVALIER, J.; COLON, P.; GROSGOGÉAT, B. Consideration of dental tissues and composite mechanical properties in secondary caries development: A critical review. **Journal of Adhesive Dentistry**, v. 23, n. 4, p. 297-308, 2021.

IFTIKHAR, S.; JAHANZEB, N.; SALEEM, M.; UR REHMAN, S.; MATINLINNA, J.P.; KHAN, A.S. The trends of dental biomaterials research and future directions: A mapping review. **The Saudi dental journal**, v. 33, n. 5, p. 229–238, 2021.

MASKE, T.T.; VAN DE SANDE, F.H.; ARTHUR, R.A.; HUYSMANS, M.C.D.N.J.M.; CENCI, M.S. In vitro biofilm models to study dental caries: a systematic review. **Biofouling**, v. 33, n. 8, p. 661–675, 2017.

MELO, M.A.S.; MOKEEM, L.; SUN, J. Bioactive restorative dental materials-the new frontier. **Dental Clinics of North America**, v. 66, n. 4, p. 551-566, 2022.

MÉZQUITA-RODRIGO, I.; SCOUGALL-VILCHIS, R.J.; MOYAHU-BERNAL, M.A.; RODRÍGUEZ-VILCHIS, L.E.; RUBIO-ROSAS, E.; CONTRERAS-BULNES, R. Using self-etch adhesive agents with pit and fissure sealants. **European Archiv of Paediatric dentistry**, v. 23, n. 2, p. 233-241, 2021.

ORILISI, G.; TOSCO, V.; MONTEERRUBBUANESI, R.; NOTARSTEFANO, V.; ÖZCAN, M.; PUTIGNANO, A.; ORSINI, G. "ATR-FTIR, EDS and SEM evaluations of enamel structure after treatment with hydrogen peroxide bleaching agents loaded with nano-hydroxyapatite particles. **PeerJ.**, v. 9, p. 10606, 2021.

PERDIGÃO, J. Current perspectives on dental adhesion: (1) Dentin adhesion – not there yet. **Japanese Dental Science Review**, v. 56, n. 1, p. 190-207, 2020.

WUERSCHING, S.N.; KOHL, L.; HICKEL, R.; SCHWENDICKE, F.; KOLLMUSS, M. "Assessing the marginal seal of bioactive restorative materials in class II cavities with a bacterial penetration model." **Dental materials**, v. 41, n. 5, p. 553-560, 2025.