

MATERIAIS RESTAURADORES CONTEMPORÂNEOS EM MEIO ÁCIDO: BIOATIVIDADE, ESTABILIDADE MECÂNICA E DESEMPENHO DE RESINAS BULK- FILL E S-PRG

Jonata Leal dos Santos¹;

¹Universidade Federal (UFPA), Belém, Pará.

Caroline Rodrigues Thomes²;

²Universidade Federal (UFES), Vitória, Espírito Santo.

Marina Lima Wanderley³;

³Universidade Federal (UFPA), Belém, Pará.

Wendel Chaves Carvalho⁴;

⁴Faculdade Anhanguera (FA), São Luís, Maranhão.

Jamily José Quaresma⁵;

⁵Universidade Federal (UFPA), Belém, Pará.

Alícia Drielly Abreu Silva⁶;

⁶Universidade Federal (UFPA), Belém, Pará.

Alfredo Carlos Rodrigues Feitosa⁷.

⁷Universidade Federal (UFES), Vitória, Espírito Santo.

RESUMO: As condições ácidas presentes na cavidade bucal representam um fator relevante na degradação de materiais restauradores, podendo comprometer sua estabilidade físico-mecânica e longevidade clínica. Este estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão narrativa da literatura, o impacto do ambiente ácido no desempenho de materiais restauradores contemporâneos, com ênfase em resinas bulk-fill e sistemas contendo partículas S-PRG. A literatura científica foi consultada nas bases PubMed, Scopus e Google Scholar, considerando estudos laboratoriais, revisões e pesquisas experimentais relevantes. Os achados indicam que a exposição a baixos valores de pH favorece a degradação da matriz orgânica, a lixiviação de constituintes da fase resinosa e o comprometimento da interface carga-matriz, resultando em redução da microdureza, aumento da rugosidade superficial e diminuição da resistência mecânica. Nas resinas bulk-fill, a resposta ao desafio ácido mostrou-se mais dependente da composição do material do que da técnica de inserção. Sistemas contendo partículas S-PRG apresentaram comportamento dual, associando potencial bioativo e modulação do meio bucal à suscetibilidade a alterações estruturais sob condições ácidas prolongadas. Conclui-se que o desempenho desses materiais depende

da interação entre composição, bioatividade e condições de exposição.

PALAVRAS-CHAVE: Bulk-fill. Degradação. S-PRG.

CONTEMPORARY RESTORATIVE MATERIALS IN ACIDIC MEDIA: BIOACTIVITY, MECHANICAL STABILITY, AND THE PERFORMANCE OF BULK-FILL AND S-PRG SYSTEMS

ABSTRACT: Acidic conditions in the oral environment represent a relevant factor in the degradation of restorative materials, potentially compromising their physicomaterial stability and clinical longevity. This study aimed to analyze, through a narrative literature review, the impact of acidic environments on the performance of contemporary restorative materials, with emphasis on bulk-fill resins and systems containing S-PRG particles. The scientific literature was consulted through PubMed, Scopus, and Google Scholar databases, considering relevant laboratory studies, literature reviews, and experimental investigations. The findings indicate that exposure to low pH conditions favors degradation of the organic matrix, leaching of resinous components, and impairment of the filler-matrix interface, resulting in reduced microhardness, increased surface roughness, and decreased mechanical resistance. In bulk-fill resins, the response to acidic challenge appeared to be more dependent on material composition than on the incremental insertion technique. Systems containing S-PRG particles exhibited a dual behavior, associating bioactive potential and modulation of the oral environment with susceptibility to structural alterations under prolonged acidic conditions. It was concluded that the performance of these materials depends on the interaction among composition, bioactivity, and exposure conditions.

KEY-WORDS: Bulk-fill. Degradation. S-PRG.

INTRODUÇÃO

A longevidade das restaurações em resina composta está diretamente relacionada à estabilidade desses materiais frente às condições instáveis do meio bucal. A cavidade oral, longe de ser um ambiente estático, impõe aos compósitos um desafio dinâmico constante: as frequentes oscilações de pH, o acúmulo de biofilme e a umidade permanente testam os limites físicos e mecânicos desses materiais ao longo do tempo (Ferracane, 2011; Geha et al., 2021; Münchow et al., 2014).

Entre essas variáveis, a acidez é um dos elementos que mais compromete a integridade do material. Seja devido à alimentação, a episódios de refluxo gastroesofágico ou pela atividade metabólica de microrganismos cariogênicos, a diminuição do pH inicia a hidrólise da matriz orgânica e a lixiviação de seus constituintes, enfraquecendo o elo fundamental entre a carga e a matriz (Valinoti et al., 2008; Szalewski et al., 2024; Yenidunya

et al., 2025). Esse colapso estrutural invisível, na prática clínica, aparece como microdureza perdida, rugosidade superficial aumentada e, claro, fraturas e falhas precoces que encurtam a longevidade do tratamento (Baroudi; Rodrigues, 2024; Frank et al., 2022).

Entretanto, essa suscetibilidade ao desgaste não é a mesma para todos. A profundidade dos danos está diretamente relacionada à composição química de cada material, ou seja, ao tipo de monômero empregado, ao grau de conversão polimérica obtido e à morfologia das partículas de carga. Resinas cujos constituintes se mostram mais afins à água sofrem uma degradação hidrolítica mais rápida, especialmente em ambientes ácidos, onde essa degradação é ainda mais acentuada (Sideridou et al., 2003; Szczesio-Wlodarski et al., 2022). Isso nos mostra que, para determinar a resistência química de um material, não basta se apoiar em sua classificação comercial; é preciso explorar os detalhes de sua composição.

As resinas bulk-fill foram desenvolvidas precisamente para equilibrar a praticidade clínica e a estabilidade estrutural. Feitas para facilitar o procedimento cirúrgico, elas possibilitam a adição de aumentos mais pesados sem, em teoria, prejudicar a performance mecânica. Apesar de os ensaios laboratoriais controlados indicarem que o desempenho físico-mecânico é equivalente ao dos compósitos convencionais, a verdadeira estabilidade dessas resinas sob a ação do ácido e sua resistência à degradação biológica e química ao longo do tempo ainda precisam ser minuciosamente investigadas, dado que sua resposta clínica está intimamente relacionada às particularidades químicas de sua própria matriz.

Simultaneamente, o desenvolvimento de materiais bioativos trouxe uma nova perspectiva à odontologia restauradora, introduzindo sistemas que deixam de ser passivos para interagir ativamente com o ambiente bucal. Os compósitos incorporados com partículas S-PRG (Surface Pre-Reacted Glass-ionomer) são a principal manifestação dessa técnica. Esses materiais funcionam como reservatórios inteligentes, liberando íons importantes como flúor, estrôncio e silicato, um processo que está diretamente ligado à modulação do pH local, à atividade antimicrobiana e à proteção do esmalte circunvizinhança contra desmineralizações (Imazato et al., 2023; Kametani et al., 2024; Bergantin et al., 2022).

No entanto, essa interface biológica, que parece promissora, cobra seu preço em termos da estabilidade estrutural do material, especialmente em ambientes ácidos. É um paradoxo inerente aos sistemas S-PRG: ao atenuar o desafio ácido pela liberação iônica, eles também pagam o preço dessa troca. Há evidências de que o processo de lixiviação ativa resulta em uma degradação superficial que se expressa por um aumento da rugosidade e uma redução da microdureza (Pimentel et al., 2023; Costa et al., 2025; Martins et al., 2024). É, portanto, um equilíbrio sutil e frequentemente conflituoso entre o aumento da bioatividade e a manutenção das propriedades mecânicas.

Isso deixa claro que compreender como os vários sistemas de restauração reagem ao estresse ácido não é algo que se possa fazer de forma fragmentada. Separar o comportamento mecânico da sua dinâmica biológica resulta em uma visão parcial; somente

ao considerar essas duas forças inseparáveis é que se consegue antecipar com realismo o desempenho clínico a longo prazo e direcionar a criação de biomateriais que sejam, simultaneamente, terapêuticos e duradouros.

OBJETIVO

Analisar, por meio de revisão narrativa da literatura científica, o impacto do ambiente ácido bucal sobre o desempenho de materiais restauradores contemporâneos, com ênfase no comportamento de resinas bulk-fill e sistemas contendo partículas S-PRG, considerando suas propriedades físico-mecânicas, estabilidade estrutural e potencial bioativo.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de caráter descritivo e interpretativo, desenvolvida com o objetivo de analisar o impacto do ambiente ácido bucal no desempenho de materiais restauradores contemporâneos, com ênfase em resinas bulk-fill e sistemas contendo partículas S-PRG. A busca bibliográfica foi realizada principalmente nas bases de dados PubMed e Scopus, com busca complementar no Google Scholar, utilizando descritores relacionados a “bulk-fill resins”, “acid degradation”, “bioactive materials” e “S-PRG”, combinados por operadores booleanos. Foram priorizados estudos publicados nos últimos 10 anos, além de referências clássicas consideradas fundamentais para a compreensão dos mecanismos de degradação e estabilidade dos materiais restauradores. Foram incluídos estudos laboratoriais, revisões de literatura e pesquisas experimentais relacionados às propriedades físico-mecânicas dos compósitos resinosos, incluindo microdureza, rugosidade superficial, resistência mecânica, degradação estrutural e interação dos materiais com o meio bucal sob condições de desafio ácido. Também foram considerados estudos envolvendo liberação iônica e comportamento de sistemas bioativos contendo partículas S-PRG. Foram excluídos trabalhos sem relação direta com a temática proposta. A análise dos dados foi conduzida de forma descritiva e interpretativa, buscando identificar padrões de comportamento dos diferentes sistemas restauradores frente à degradação ácida, bem como compreender a relação entre composição, bioatividade e estabilidade mecânica. Por se tratar de um estudo baseado exclusivamente em dados secundários da literatura científica, não houve necessidade de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A exposição de materiais restauradores a ambientes ácidos desafia criticamente sua estabilidade físico-mecânica. O baixo pH pode favorecer a degradação da matriz orgânica e a sorção de água, lixiviando componentes e fragilizando a interface carga-matriz. Esse colapso molecular explica a perda de resistência, o aumento da rugosidade e a diminuição

da microdureza em compósitos expostos a bebidas ácidas, soluções erosivas e ciclagens de pH (Valinoti et al., 2008; Münchow et al., 2014; Geha et al., 2021; Szalewski et al., 2024).

A redução da microdureza ocorre principalmente porque o meio ácido pode alterar a integridade da rede polimérica e facilitar a degradação superficial do material. Quando há maior sorção de água ou presença de monômeros mais suscetíveis à degradação hidrolítica, a matriz resinosa tende a perder estabilidade, tornando-se mais vulnerável ao desgaste e à ação mecânica subsequente. Esse fenômeno é coerente com estudos que demonstram alteração da microdureza após exposição ácida em diferentes materiais restauradores (Sideridou et al., 2003; Baroudi; Rodrigues, 2024; Frank et al., 2022).

O aumento da rugosidade superficial pode ser explicado pela degradação desigual entre matriz e partículas de carga. O amolecimento ou a solubilização parcial da matriz resguarda um problema crítico: ao expor ou desprender as partículas inorgânicas, o material desenvolve uma superfície irregular. Esse incremento na rugosidade repercute diretamente na clínica, pois catalisa a retenção de biofilme, a pigmentação e o desgaste, ameaçando a longevidade estética e funcional do procedimento (Münchow et al., 2014; Tărăboanță et al., 2022; Moreira et al., 2025). Contudo, a magnitude desse dano sob desafio ácido oscila entre os compósitos, evidenciando o peso da composição química e das variações nos desenhos metodológicos dos estudos.

Quanto às resinas bulk-fill, seu comportamento mecânico já se consolidou na literatura como equivalente ao das convencionais. O grande trunfo da categoria reside na otimização operacional, permitindo incrementos volumosos, viabilizada por refinamentos estratégicos na translucidez, nos sistemas fotoiniciadores, na matriz orgânica e na densidade de carga (Van Ende et al., 2017; Ilie, 2022; Silva et al., 2023). Portanto, a tecnologia bulk-fill não deve ser compreendida como sinônimo de maior resistência ou maior fragilidade frente ao ácido; sua resposta depende sobretudo da formulação específica de cada material.

Essa dependência da composição explica por que diferentes resinas bulk-fill podem apresentar comportamentos distintos sob envelhecimento ou desafio químico. Variações no tipo de monômero, grau de conversão, tamanho e volume de partículas de carga interferem diretamente na sorção de água, na estabilidade da matriz e na resistência à degradação. Assim, o ambiente ácido não afeta todas as bulk-fill da mesma forma; ele evidencia diferenças internas entre materiais que, clinicamente, podem parecer pertencentes à mesma categoria (Marović et al., 2022; Leyva Del Rio; Johnston, 2023; Nagrale et al., 2023).

Os sistemas contendo partículas S-PRG apresentam uma lógica diferente, pois foram desenvolvidos para oferecer interação funcional com o meio bucal. A liberação de múltiplos íons, como flúor, estrôncio, silicato e boro, pode contribuir para modulação do pH, interferência no biofilme e proteção do esmalte adjacente em determinadas condições. Esse comportamento positivo ajuda a explicar o interesse crescente por materiais bioativos na odontologia restauradora contemporânea (Imazato et al., 2023; Bergantin et al., 2022; Kametani et al., 2024).

Entretanto, a mesma característica que confere bioatividade pode também gerar vulnerabilidade estrutural. Embora as partículas vítreas pré-reativas viabilizem a liberação iônica, sua vulnerabilidade à solubilização e à alteração superficial acentua-se sob acidez, elevando a rugosidade e desestabilizando o compósito. Logo, a bioatividade não configura um escudo absoluto contra a degradação; traduz-se em vantagem funcional, mas evoca maior sensibilidade superficial a depender da intensidade e cronologia do desafio ácido (Pimentel et al., 2023; Martins et al., 2024; Costa et al., 2025).

Esse cenário desenha um paradoxo central: sistemas com S-PRG podem reagir positivamente ao ambiente ácido por meio da liberação iônica e possível tamponamento, mas também podem reagir negativamente pela alteração da superfície restauradora. O sucesso clínico desses materiais reside, portanto, no equilíbrio entre o ganho biológico e a perda mecânica, indicando como resposta final par o sucesso clínico, sua concentração e distribuição das partículas S-PRG, da matriz resinosa que as envolve, do tempo de exposição ao ácido e da associação com fatores abrasivos ou erosivos (Imazato et al., 2023; Pimentel et al., 2023; Costa et al., 2025).

Modelos laboratoriais de desafio ácido e ciclos de pH são importantes porque tentam simular a repetição dos episódios de desmineralização e remineralização que ocorrem na cavidade oral. Esses modelos mostram que o dano não depende apenas de um episódio isolado de acidez, mas da repetição do desafio ao longo do tempo. Essa lógica é particularmente relevante em pacientes com dieta ácida frequente, refluxo gastroesofágico, maior risco cariogênico ou associação entre erosão e abrasão (Buzalaf et al., 2010; Stookey et al., 2011; Featherstone, 2021).

Entretanto, grande parte das evidências disponíveis deriva de estudos laboratoriais, cujas condições experimentais não reproduzem integralmente a complexidade do ambiente bucal clínico, especialmente diante da influência simultânea de fatores biológicos, mecânicos e comportamentais.

Assim, o que se entende como comportamento em meio ácido deve ser visto como uma interação entre composição química, estrutura e condições de exposição. Para além do potencial bioativo, é crucial avaliar a habilidade desses sistemas de manter uma estabilidade estrutural diante das constantes agressões químicas na cavidade oral, principalmente em pacientes que estão frequentemente expostos a situações erosivas e cariogênicas.

CONCLUSÃO

A literatura científica consolida que a acidez do meio bucal impacta agressivamente o desempenho dos materiais restauradores, desencadeando alterações físico-mecânicas por meio de manipulação da matriz orgânica, colapso da interface carga-matriz e absorção hídrica. Nas resinas bulk-fill, esta resposta ao desafio ácido vincula-se muito mais à composição intrínseca do composto do que à técnica de inserção incremental. O tipo de monômero, o grau de conversão polimérica e a morfologia das partículas de carga emergem,

portanto, como os verdadeiros determinantes de sua estabilidade.

Paralelamente, os materiais com tecnologia S-PRG apresentam um comportamento duplo marcante: equilibram o potencial bioativo e a modulação do meio com a vulnerabilidade a danos estruturais sob erosão prolongada. Fica claro que a bioatividade não deve ser interpretada como garantia de estabilidade mecânica; trata-se de um atributo funcional que exige análise indissociável de sua integridade física. Na última análise, o sucesso clínico em ambientes ácidos permeia em torno da tríade composição, bioatividade e resistência à manipulação, ressaltando a necessidade de uma seleção criteriosa dos materiais face às especificidades termodinâmicas e biológicas da cavidade oral.

PRINCIPAIS REFERÊNCIAS

BAROUDI, K.; RODRIGUES, J. C. **Influence of acidic drinks and brushing on microhardness of restorative resin materials.** Open Dentistry Journal, 2024.

BERGANTIN, B. T. P. et al. **S-PRG-based composites erosive wear resistance and the effect on surrounding enamel.** Scientific Reports, 2022.

BUZALAF, M. A. R. et al. **Modelos de ciclo de pH para avaliação in vitro da eficácia de dentes fluoretados para controle de cárie.** Journal of Applied Oral Science, 2010.

COSTA, M. P. et al. **Impact of S-PRG/Giomer and bulk-fill technologies on the hygroscopic profile of resin composites under erosive condition.** Journal of Dentistry, 2025.

FERRACANE, J. L. **Resin composite – state of the art.** Dental Materials, 2011.

FRANK, E. L. S. et al. **Effect of acid challenge and photoactivation distance on microhardness and roughness of bulk-fill flow composites.** Revista de Odontologia UNESP, 2022.

GEHA, O. et al. **Effect of chemical challenges on properties of composite resins.** International Journal of Dentistry, 2021.

ILIE, N. **Resin-based bulk-fill composites: tried and tested, new trends, and evaluation compared to human dentin.** Materials, 2022.

ILIE, N.; HICKEL, R. **Resin composite restorative materials.** Australian Dental Journal, 2011.

IMAZATO, S. et al. **Multiple-ion releasing bioactive surface pre-reacted glass-ionomer (S-PRG) filler: innovative technology for dental treatment and care.** Journal of Functional Biomaterials, 2023.

KAMETANI, M. et al. **Inhibitory effects of surface pre-reacted glass-ionomer filler eluate on Streptococcus mutans in the presence of sucrose.** International Journal of Molecular Sciences, 2024.

LEYVA DEL RIO, D.; JOHNSTON, W. M. **Effect of monomer composition and filler frac-**

tion on surface microhardness and depth of cure of experimental resin composites. European Journal of Oral Sciences, 2023.

MAROVIĆ, D. et al. **Aging-dependent changes in mechanical properties of the new generation of bulk-fill composites.** Materials, 2022.

MARTINS, D. D. S. et al. **Are S-PRG composites able to resist against erosive and abrasive challenges and protect surrounding enamel in situ?** Journal of Dentistry, 2024.

MOREIRA, E.N.T. et al. **Effect of polishing systems on the roughness, color, and staining of conventional and bulk-fill resin composites with and without S-PRG filler.** Clinical Oral Investigations, 2025.

MÜNCHOW, E. A. et al. **Effect of acidic solutions on the surface degradation of a micro-hybrid composite resin.** Brazilian Dental Journal, 2014.

NAGRALE, A. et al. **Influência dos tamanhos de partículas de enchimento nas propriedades físicas dos compósitos.** Cureus, 2023.

PIMENTEL, E. S. et al. **Effects of in vitro erosion on surface texture, microhardness, and color stability of resin composite with S-PRG fillers.** Clinical Oral Investigations, 2023.

SIDERIDOU, I. D. et al. **Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dental resins.** Biomaterials, 2003.

SILVA, G. et al. **Bulk-fill resins versus conventional resins: an umbrella review.** Polymers, 2023.

STOOKEY, G. K. et al. **The Featherstone laboratory pH cycling model: a prospective validation exercise.** American Journal of Dentistry, 2011.

SZALewski, L. et al. **Influence of low pH on the microhardness and surface roughness of dental composites.** Materials, 2024.

TĂRĂBOANȚĂ, I. et al. **Evaluation of surface roughness of composite resins after acid and abrasive challenges.** Biomedicines, 2022.

VALINOTI, A. C. et al. **Surface degradation of composite resins by acidic medicines and pH-cycling.** Journal of Applied Oral Science, 2008.