

Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de resina bioativa, após imersão em bebidas com pH ácido

*Evaluation of the physical and mechanical properties of bioactive resin after immersion
in beverages with acidic pH*

HÉRICA ROQUE TERÊNCIO
Discente de Odontologia (UNIPAM)
hericaroque@unipam.edu.br

DENISE DE SOUZA MATOS
Professora orientadora (UNIPAM)
denisesm@unipam.edu.br

Resumo: Materiais restauradores bioativos apresentam propriedades preventivas e remineralizantes, favorecendo a preservação dentária. Este estudo avaliou os efeitos de bebidas ácidas em resinas bioativas, analisando suas propriedades físicas e mecânicas. Os experimentos foram realizados utilizando o material Beautifil Flow Plus F00. Foram produzidos 29 corpos de prova, divididos em três grupos: controle (água destilada), Coca-Cola e suco de uva Kapo. Foram analisadas variáveis como peso inicial e final, rugosidade inicial e final e microdureza. Os corpos de prova foram submersos nas bebidas por 5 minutos, três vezes ao dia, durante 5 dias. Os resultados mostraram que houve um aumento significativo na rugosidade nos grupos controle e Coca-Cola, mas não no grupo Kapo. Além disso, o peso aumentou nos grupos Coca-Cola e Kapo. As medições de microdureza não apresentaram diferenças significativas entre os grupos. Estudos futuros são necessários para comparar os efeitos de diferentes bebidas ácidas nas resinas bioativas, visando aprimorar o desempenho clínico do material.

Palavras-chave: materiais dentários; rugosidade de superfície; testes de dureza.

Abstract: Bioactive restorative materials exhibit preventive and remineralizing properties, promoting dental preservation. This study evaluated the effects of acidic beverages on bioactive resins, analyzing their physical and mechanical properties. The experiments were conducted using the material Beautifil Flow Plus F00. A total of 29 specimens were produced and divided into three groups: control (distilled water), Coca-Cola, and Kapo grape juice. Variables such as initial and final weight, initial and final roughness, and microhardness were analyzed. The specimens were immersed in the beverages for 5 minutes, three times a day, for 5 days. The results showed a significant increase in roughness in the control and Coca-Cola groups, but not in the Kapo group. Additionally, weight increased in the Coca-Cola and Kapo groups. Microhardness measurements showed no significant differences between the groups. Future studies are needed to compare the effects of different acidic beverages on bioactive resins, aiming to improve the clinical performance of the material.

Keywords: dental materials; surface roughness; hardness tests.

1 INTRODUÇÃO

A cárie dentária é uma condição bucal crônica de origem infecciosa que representa uma ameaça à saúde geral do indivíduo, ocasionando uma redução significativa na qualidade de vida. Além disso, trata-se de uma doença multifatorial, determinada por uma disbiose — ou seja, um desequilíbrio associado, por exemplo, às bactérias presentes na placa dentária, à existência de uma dieta inadequada e a uma higiene bucal ineficiente (Marinho *et al.*, 2016). Ademais, a cárie dentária apresenta elevada incidência e prevalência entre as doenças que afetam a população, configurando-se como uma enfermidade comum. No entanto, apesar de sua frequência, o índice de tratamento é baixo devido aos inúmeros desafios ainda existentes (Cheng *et al.*, 2022).

O processo cariioso tem início com o surgimento de uma desmineralização dentária superficial, que pode progredir para a formação de uma cavidade em dentina, seguida do envolvimento pulpar e do desenvolvimento de sinais e sintomas sistêmicos, caso o tratamento não seja realizado de maneira oportuna (Pinto, 2021). No entanto, as ações preventivas em saúde bucal têm sido consideradas uma evolução significativa na Odontologia, pois, além de sua eficácia na prevenção da doença cárie, também desempenham um papel importante na motivação para o tratamento. Os fluoretos são amplamente utilizados como principal mecanismo anticárie, graças às suas propriedades cariostáticas e remineralizantes, tornando-se eficazes contribuintes para o controle e a prevenção dessa doença (Sathiyamoorthy; Prabakar, 2022). Outrossim, as medidas básicas são consideradas uma prioridade nos serviços odontológicos, pois são mais custo-efetivas do que o tratamento curativo, como, por exemplo, a aplicação tópica de flúor para lesões de cárie ativas não cavitadas e as instruções de higiene oral com dentifrício fluoretado, entre outras. Entretanto, em estágios mais avançados da doença, torna-se necessário realizar a remoção do tecido cariado e proceder à restauração do dente afetado (Marinho *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2022).

Quando são identificadas lesões cavitadas de cárie, é comum adotar procedimentos restauradores que envolvem a remoção do tecido lesionado, com o objetivo de solucionar o problema e fornecer fluoreto em áreas de risco. Os materiais utilizados nesses procedimentos incluem cimentos de ionômero de vidro, cimentos de ionômero de vidro modificados por resina, resinas iônicas, compômeros e compósitos (Tonprasong *et al.*, 2022; Pinto *et al.*, 2023). As propriedades antibacterianas e cariostáticas dos materiais restauradores estão frequentemente associadas à quantidade de fluoreto liberado, que é mais significativa imediatamente após a aplicação do material. No entanto, alguns materiais que liberam fluoreto podem atuar como reservatórios desse íon, sendo reabastecidos após o uso tópico (Pinto, 2021).

Os materiais restauradores resinosos representam um dos maiores avanços da odontologia restauradora, tornando-se o padrão de uso para restabelecer a estrutura e a função do dente, especialmente em casos de lesões cariosas. No entanto, com o passar do tempo, as resinas compostas podem apresentar alterações na interface com a estrutura dentária subjacente, o que pode resultar no surgimento de lesões de cárie secundárias — ou seja, adjacentes à restauração —, justificando a necessidade de substituição das restaurações (Souza, 2019). As resinas compostas evoluíram

significativamente com a incorporação de materiais bioindutores em sua matriz, como as micropartículas de vidro bioativo (BAG). Os compósitos que incluem esses materiais são conhecidos como resinas iônicas, permitindo a troca de íons entre o material restaurador e o tecido dentário (Pinto, 2021).

As resinas iônicas constituem um novo material que combina as propriedades físicas dos compósitos com as características bioativas dos ionômeros de vidro, incluindo a liberação de íons de flúor em maior quantidade do que os ionômeros de vidro, além de liberarem também íons de cálcio e fosfato (Pinto, 2021). Nesse sentido, a interação entre o material restaurador e o esmalte adjacente à restauração é de extrema importância, pois a microinfiltração pode estar associada ao desenvolvimento de lesões de cárie secundária e à consequente falha na longevidade da restauração (Souza, 2019; Dawasaz *et al.*, 2023).

O desenvolvimento de materiais bioativos permitiu uma evolução nas gerações de biomateriais, promovendo uma maior compatibilidade entre os tecidos biológicos e os materiais odontológicos. Além disso, os pacientes se beneficiam significativamente com a liberação de íons e a capacidade de bioadesão (Melo *et al.*, 2021). Assim, por meio da aplicação de nanotecnologia e da incorporação de elementos bioativos às resinas compostas e aos sistemas adesivos tradicionais, o grupo das resinas iônicas surge como uma alternativa viável para favorecer o controle e a preservação do biofilme presente na placa dentária, bem como para promover a remineralização das fases iniciais da cárie dentária, conferindo a esses materiais notáveis propriedades preventivas (Zafar *et al.*, 2019).

A cavidade bucal é exposta a constantes ciclos de pH, nos quais a saliva e a estrutura dentária desempenham papéis ativos, participando de um ciclo contínuo de troca mineral. A diminuição do pH desencadeia o processo de desmineralização, com a liberação de íons cálcio e fosfato da superfície dentária. Com o aumento do pH, esses íons tornam-se disponíveis para interagir com o flúor presente na própria saliva (Souza, 2019). Esse fenômeno ocorre, por exemplo, na maioria dos tratamentos ortodônticos, devido à dificuldade de higienização em torno dos bráquetes, o que favorece o acúmulo de placa bacteriana e o desenvolvimento de lesões de cárie na região adjacente. No entanto, ao empregar resinas bioativas para fixar os bráquetes, é possível prevenir o surgimento de manchas brancas. O flúor desempenha um papel crucial na interrupção da formação dessas lesões superficiais, ao inibir a atividade metabólica das bactérias responsáveis pela produção de ácido desmineralizante. Diante disso, outro benefício do uso de resinas bioativas é a liberação de flúor de maneira independente da cooperação do paciente (Freitas, 2018; Alamri *et al.*, 2020).

O restaurador Activa BioActive (Pulpdent, Watertown, MA, EUA) e a base/liner Activa BioActive (Pulpdent, Watertown, MA, EUA) são pioneiros entre os materiais odontológicos bioativos, apresentando uma matriz de resina iônica e cargas bioativas que replicam algumas das propriedades físicas e químicas encontradas nos dentes naturais (Carneiro *et al.*, 2021). Outras resinas bioativas atualmente disponíveis incluem Beautifil Bulk, Dyract XP, EQUIA Forte e Cention N, nas quais alguns novos sistemas apresentam liberação de flúor, compatibilidade com o campo úmido, adesão química à estrutura dental, maior microdureza superficial e resistência à compressão (Fernandes, 2022).

A avaliação da durabilidade e do desempenho desses materiais pode ser conduzida por meio da análise de suas propriedades mecânicas, como a dureza, que reflete o grau de polimerização e a capacidade de resistência ao desgaste superficial. Dessa forma, a resistência à fratura e a taxa de falha clínica das restaurações são critérios relevantes. A aplicação da nanotecnologia para a síntese de BAG em dimensões reduzidas tem permitido diversas melhorias nas características do material, incluindo sua reatividade química, atividade biológica, dureza e área superficial ativa (Zafar *et al.*, 2019; Carneiro *et al.*, 2021).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de uma bebida ácida (baixo pH), de consumo comum infantil, sobre a superfície de corpos de prova feitos de resina bioativa, com uma avaliação abrangente de suas propriedades físicas, incluindo peso e rugosidade superficial, bem como suas propriedades mecânicas, como a microdureza.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Análise Histoquímica (Centro Clínico Odontológico do UNIPAM) e no Laboratório de Ciência dos Materiais (Campus UNIPAM, bloco I, sala 212).

2.1 MATERIAL

Para realização deste estudo, foi utilizado a resina bioativa Beautifil Flow Plus F00 (Shofu, São Paulo, SP, Brasil) (Figura 1).

Figura 1: Resina Beautifil Flow Plus F00 utilizada no experimento.



Fonte: site do fabricante, 2024.

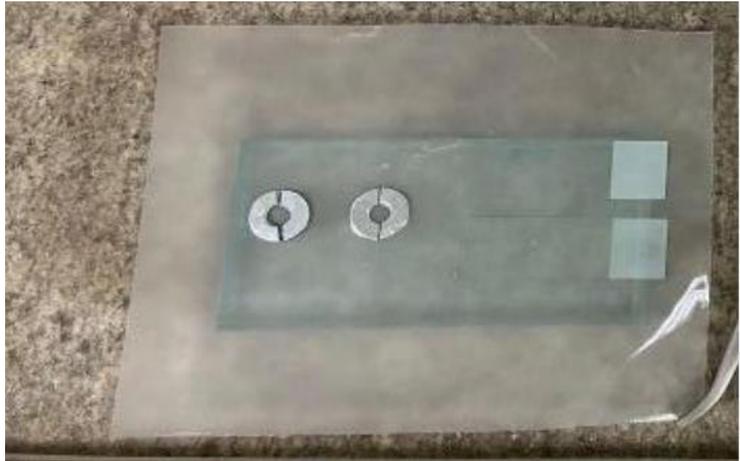
As bebidas de uso infantil utilizadas nos grupos testes foram a Coca-Cola e o suco de uva Kapo.

2.2 MÉTODO

2.2 1. Produção das amostras

Foram produzidos 29 discos da resina bioativa Beautifil Flow Plus F00 com as dimensões de 10mm x 2mm. As amostras foram confeccionadas utilizando uma matriz produzida para este fim com uma placa de alumínio, pensando na não dispersão da luz no momento da polimerização, nas dimensões já estabelecidas (Figura 2).

Figura 2: Matriz utilizada para confecção dos corpos de prova



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

Para a confecção dos corpos de prova, a placa de alumínio foi apoiada em uma placa de vidro e, após a inserção do compômero no molde, foi colocado sobre ele, ainda sem ativar a polimerização, uma lamínula de vidro a fim de obter uma lisura superficial e, em seguida, a amostra foi fotoativada. As orientações do fabricante recomendam que o material seja polimerizado com aparelho com luz LED/halógena e uma intensidade de luz de pelo menos 500 mW/cm². Para este estudo foi utilizado o aparelho de luz LED GNATUS (Optilight Color) (Gnatus, Barretos, SP, Brasil), que possui intensidade de 1200mW/cm². Previamente à confecção das amostras e a cada 10 amostras confeccionadas, o aparelho fotopolimerizador foi testado por meio de um radiômetro, com o intuito de padronizar a intensidade de luz utilizada na confecção dos espécimes. As amostras foram confeccionadas e fotopolimerizadas individualmente, por 20 segundos, conforme instruções do fabricante. Após a confecção, as amostras foram removidas da matriz de alumínio, divididas em três grupos, sendo dois grupos variando as bebidas na qual os corpos de prova foram imersos durante o desafio ácido e um grupo controle onde as amostras foram acondicionadas em água destilada, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Distribuição dos grupos

Grupo	Solução líquida / Bebida	pH
G1 (n=9)	Água destilada (controle)	5,7
G2 (n=10)	Refrigerante Coca-Cola	2,66
G3 (n=10)	Suco de uva Kapo	3,82

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

2.2.2 Pesagem e rugosidade superficial inicial

Após a confecção dos corpos de prova, estes foram acondicionados em recipientes plásticos, com água destilada à 37°C e armazenados em estufa biológica por 72 horas. Estes foram transportados até o Laboratório de Ciência dos Materiais (Campus UNIPAM, Bloco I, sala 212) para serem pesados antes do desafio ácido, e, para isso, os espécimes foram secados em papel absorvente e enumerados, sem provocar atrito na superfície a ser analisada. O objetivo era comparar o peso inicial de cada material restaurador com o seu peso final, o que poderia indicar algum efeito do desafio ácido, como possível desidratação do material e perda de massa. Para essa etapa, utilizou-se uma balança analítica modelo WEBLABORSP 210g 0.0001g M214-Aí (Weblabor, Mogi das Cruzes, SP, Brasil), que foi calibrada 30 minutos antes da pesagem para garantir resultados precisos dos corpos de prova.

Inicialmente foi realizado o teste de rugosidade superficial inicial. Foi utilizado o equipamento Rugosímetro Portátil SurfTest modelo SJ-210 (Mitutoyo Sul Americana, Suzano, SP, Brasil), tendo sido obtidas três leituras em cada amostra colada sobre uma tira de cera rosa para cada grupo (Figuras 3). As medidas foram utilizando como unidade de medida o micrômetro (μm). Após os testes iniciais, retornaram para recipientes plásticos, com água destilada à 37°C e armazenados em estufa biológica por 72 horas.

Figura 3: Teste com equipamento rugosímetro portátil SurfTest modelo SJ-210



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

2.2.3 Desafio ácido

Para realização dos desafios ácidos os recipientes foram substituídos, sendo um recipiente para cada bebida a ser testada e outro com água destilada para o grupo controle, mantendo os corpos de prova totalmente submersos nos líquidos durante 5 minutos. O ciclo de imersão foi repetido três vezes ao dia, sendo às 07h, 11h e 17h, visando simular as três refeições principais do dia, durante 5 dias. A cada ciclo de imersão novas bebidas foram utilizadas, abrindo-se a embalagem no momento da imersão. Após cada ciclo as amostras foram limpas em água destilada, em recipiente destinado para este fim e, em seguida, devolvidas ao recipiente plástico contendo também água destilada, no qual foram acomodadas inicialmente e novamente acondicionadas em estufa à 37º C. A água destilada do recipiente de armazenamento em estufa foi trocada a cada ciclo do desafio ácido.

2.2.4 Realização dos testes de rugosidade superficial e microdureza finais

Ao final do último desafio ácido, os corpos de prova foram acondicionados em um recipiente contendo água destilada e imersos por 72 horas, até a realização dos testes de rugosidade superficial e microdureza finais.

O teste de rugosidade superficial foi repetido utilizando o equipamento rugosímetro portátil SurfTest modelo SJ-210, com três leituras realizadas em cada amostra para permitir a comparação das médias.

A microdureza superficial foi avaliada após o teste de rugosidade, pois esse experimento gera endentações nos corpos de prova, o que poderia interferir nas medições de rugosidade das amostras. Para a avaliação da microdureza, foi utilizado um microdurômetro modelo HR-400 (Mitutoyo Sul Americana, Suzano, SP, Brasil), com penetrador tipo Knoop e ponteira esférica 1/16, sob carga estática de 15 Kgf durante cinco segundos. Três leituras foram realizadas em cada amostra e, em seguida, a média dos valores obtidos foi fornecida pelo equipamento. Os valores foram convertidos para Vickers utilizando a tabela MITUTOYO com base na ISO/WD 18265:2009 (E) – Tabela G.2, referente a materiais moles (Rockwell superficial 15 T).

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os testes estatísticos aplicados neste estudo seguiram um procedimento estruturado para garantir a validade das análises e a precisão dos resultados obtidos. Antes da aplicação dos testes estatísticos, foram verificadas as condições necessárias para a escolha adequada dos métodos, sendo realizado o Teste de Shapiro-Wilk para verificar se os dados apresentavam distribuição normal. A homogeneidade das variâncias entre os grupos foi testada utilizando o Teste de Levene.

Com os pressupostos devidamente verificados, foram aplicados os testes estatísticos apropriados para responder às questões de pesquisa, variando conforme as características dos dados. O teste ANOVA foi realizado quando os dados atenderam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias, permitindo avaliar se havia uma diferença estatisticamente significativa nas médias das variáveis (como peso,

rugosidade e dureza) entre os grupos. Quando a comparação envolveu dois grupos dependentes e os dados seguiram uma distribuição normal, foi aplicado o Teste t para amostras dependentes para avaliar a diferença nas médias entre os grupos inicial e final. O Teste de Wilcoxon foi utilizado quando as amostras não atenderam ao pressuposto de normalidade, sendo empregado para medir a diferença entre duas condições (como antes e depois do tratamento) dentro do mesmo grupo experimental. Por fim, quando os dados não atenderam ao pressuposto de normalidade e envolviam a comparação de mais de dois grupos independentes, foi utilizado o Teste de Kruskal-Wallis, que permitiu avaliar se havia uma diferença estatisticamente significativa nas medianas das variáveis entre os grupos experimentais.

Após a aplicação dos testes, os resultados foram analisados com base nos valores de p obtidos. Utilizou-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) para determinar a significância estatística das diferenças entre os grupos ou condições.

3 RESULTADOS

3.1 PESO

Foi possível observar que todos os grupos apresentaram um leve aumento nos pesos após o tratamento. Este aumento é evidenciado pelas mudanças nas medianas, que estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Mediana inicial versus final do peso para cada grupo

Grupo	Mediana Peso Inicial	Mediana Peso Final	% Variação Mediana
Controle	0,179	0,181	1,117
Coca-Cola	0,181	0,182	0,552
Kapo	0,175	0,176	0,571

De acordo com a Tabela 3, os resultados indicaram que, em todos os grupos, houve uma diferença estatisticamente significativa entre as medições dos pesos iniciais e finais, com p-valores inferiores ao nível de significância de 0,05. Os tratamentos aplicados nos grupos controle, Coca-Cola e Kapo resultaram em mudanças significativas no peso dos indivíduos, conforme indicado pelo teste de Wilcoxon, levando à rejeição da hipótese nula (H_0), que postula que não há diferença entre os pesos iniciais e finais.

Tabela 3: Resultados do teste de Wilcoxon para a variável peso nos três grupos experimentais

Grupo	V (Estatística de Wilcoxon)	p-valor	Decisão
Controle	45	0,006058	Rejeitar H_0
Coca-Cola	28	0,01471	Rejeitar H_0
Kapo	280	0,01073	Rejeitar H_0

Ao comparar os três grupos entre si, os resultados mostraram que as diferenças entre eles não foram estatisticamente significativas ($p = 0,1838$). Isso sugere que, apesar

de cada grupo ter apresentado mudanças no peso inicial versus final, não foi possível identificar uma diferença significativa entre os três grupos.

3.2 RUGOSIDADE

Os resultados sugerem que os tratamentos aplicados aos diferentes grupos tiveram efeitos distintos sobre a rugosidade das amostras. O grupo Coca-Cola apresentou um aumento na rugosidade, enquanto o grupo Kapo mostrou uma diminuição. O grupo controle, por sua vez, apresentou um aumento moderado na rugosidade (Tabela 4).

Tabela 4: Mediana inicial versus final de rugosidade para cada grupo

Grupo	Mediana Inicial	Mediana Final	% Variação Mediana
Controle	0,140	0,217	55,370
Coca-Cola	0,121	0,194	59,945
Kapo	0,128	0,191	-33,042

Em seguida, foram realizados os testes de hipóteses para confirmar se houve diferença estatística entre os grupos. Para analisar a normalidade das diferenças entre as medições iniciais e finais da rugosidade nos grupos controle, Coca-Cola e Kapo, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Os resultados mostraram que, enquanto os grupos controle e Coca-Cola apresentaram distribuições normais nas diferenças de rugosidade, o grupo Kapo não seguiu uma distribuição normal. Isso influenciou a escolha dos testes estatísticos subsequentes: os grupos controle e Coca-Cola foram analisados utilizando testes paramétricos (teste t pareado), enquanto o grupo Kapo foi analisado utilizando testes não paramétricos (teste de Wilcoxon).

Os resultados indicaram que os tratamentos nos grupos controle e Coca-Cola apresentaram diferenças significativas no aumento da rugosidade, enquanto o tratamento do grupo Kapo não produziu mudanças estatisticamente significativas entre a rugosidade inicial e final (Tabela 5).

Tabela 5: Resultados dos testes estatísticos para rugosidade nos grupos Controle, Coca-Cola e Kapo

Grupo	Teste	Estatística	p-valor
Controle	Teste t pareado	t = -4,0118	0,0039
Coca-Cola	Teste t pareado	t = -2,3593	0,0427
Kapo	Teste de Wilcoxon	V = 44	0,1055

Foi realizada uma comparação entre os grupos em relação à rugosidade final, e os resultados do teste de Kruskal-Wallis indicaram que as diferenças entre as medianas de rugosidade final nos grupos experimentais não foram estatisticamente significativas ($p = 0,1896$). Isso sugere que os tratamentos aplicados aos grupos não causaram variações suficientemente grandes nas medianas de rugosidade final para serem detectadas pelo teste.

3.3 DUREZA

Os resultados do teste de Shapiro-Wilk indicaram que as medições de dureza seguem uma distribuição normal em todos os grupos. O teste de Levene mostrou que as variâncias entre os grupos são homogêneas ($p = 0,1785$). Dado que as medições de dureza seguem a normalidade e as variâncias são homogêneas entre os grupos, é apropriado utilizar testes paramétricos, como a ANOVA, para a comparação entre os três grupos.

O p-valor da ANOVA foi 0,0658, ligeiramente superior ao nível de significância convencional de 0,05. Isso sugere que não há evidência estatisticamente significativa para rejeitar a hipótese nula de que as médias de dureza dos três grupos são iguais.

4 DISCUSSÃO

Mendes *et al.* (2021) realizaram um ensaio *in vitro* para avaliar a microdureza de diferentes materiais restauradores. Os resultados mostraram que a resina composta bioativa utilizada apresentou médias mais elevadas de microdureza. Em resumo, os materiais testados demonstraram uma redução gradual na microdureza à medida que a profundidade aumentava, especialmente em profundidades superiores a 2,0 mm. Em todos os materiais restauradores, as médias de microdureza foram mais altas 24 horas após a fotoativação. A resina composta bioativa obteve os melhores resultados nas diferentes profundidades avaliadas. O estudo ressalta as excelentes propriedades da resina bioativa utilizada, as quais, associadas à liberação de flúor, permitem ao clínico realizar uma remoção seletiva do tecido cariado e proporcionar maior durabilidade às restaurações.

Dasgupta *et al.* (2018) avaliaram e compararam a liberação e recarga de íons flúor de cinco diferentes materiais restauradores posteriores. Os resultados mostraram os benefícios das resinas bioativas, especialmente o EQUIA® Forte Fil, que obteve o maior potencial de liberação e recarga de flúor em todos os intervalos de tempo em comparação com outros materiais restauradores testados, destacando-se também pela maior liberação de flúor.

A análise das propriedades físicas e mecânicas dos materiais restauradores na odontologia é fundamental para garantir a eficácia e a durabilidade das restaurações dentárias. Esses materiais tendem a se degradar ao longo do tempo, especialmente em ambientes ácidos, o que é evidenciado pela maior rugosidade da superfície devido à degradação. Estudos como os de Cavalcanti *et al.* (2010) e Soares, Savi e Taguchi (2019) demonstraram que o pH das bebidas é o principal fator determinante do potencial erosivo, principalmente quando combinado com a frequência do consumo, como no caso das bebidas comumente consumidas por crianças, o que justifica o interesse do presente estudo. Outros autores evidenciam que a exposição dos materiais restauradores a ambientes ácidos altera sua estrutura superficial, resultando em erosão, redução da dureza, manchamento e aumento da porosidade (Badra *et al.*, 2005; Honório *et al.*, 2008; Svizero *et al.*, 2014; Guedes *et al.*, 2018; Poggio *et al.*, 2019). Esses resultados estão em consonância com os encontrados no presente estudo, que evidenciaram o aumento da rugosidade após o desafio ácido no grupo Coca-Cola. Nesse contexto, os materiais restauradores estão sendo constantemente aprimorados para atender a essas

necessidades, com inovações como as resinas bioativas que liberam flúor. No entanto, mais estudos são necessários nessa área para avaliar plenamente seu desempenho a longo prazo.

O valor de pH 5,5 é considerado o ponto crítico para a desmineralização dentária, no qual os cristais de hidroxiapatita começam a se dissolver. Quando o pH está abaixo desse valor, o esmalte dentário está sujeito à descalcificação. Portanto, bebidas com pH inferior a 5,5 podem causar erosão do esmalte, mesmo que a maior parte seja deglutida e uma pequena quantidade permaneça em contato com a saliva. Na cavidade bucal, os dentes são protegidos pela película salivar, que possui efeitos remineralizadores e pode atuar como um tampão. A capacidade de limpeza bucal pela saliva é maximizada após a ingestão de alimentos e bebidas (Amaechi; Higham; Edgar, 1999; O'Sullivan; Curzon, 2000).

Buratto *et al.* (2002) e Zandim *et al.* (2008) observaram que o pH das bebidas ácidas analisadas estava abaixo do pH crítico, confirmando sua capacidade erosiva sobre o esmalte dental. Nesse contexto, Xavier *et al.* (2010) também corroboraram essa constatação, verificando a diminuição nos valores de microdureza, o que confirma a perda mineral do tecido dentário.

Em 2022, Fernandes avaliou a formação de lesões de cárie causadas por um desafio cariogênico bacteriano nas margens de restaurações feitas com materiais restauradores bioativos e resina composta, tanto em esmalte quanto em dentina. Os resultados indicaram que os grupos de materiais bioativos apresentaram desempenho superior em ambas as medições de microdureza (superficial e subsuperficial). Os materiais restauradores bioativos demonstraram um melhor comportamento em relação à microdureza Knoop, o que resultou em uma maior capacidade de inibição da desmineralização associada aos processos de cárie, tanto no esmalte quanto na dentina, conforme evidenciado também pela análise por microscopia de luz polarizada. Este estudo não teve como objetivo comparar a microdureza entre diferentes materiais restauradores, mas sim avaliar o impacto do desafio ácido em comparação com o grupo controle. Os resultados mostraram variâncias homogêneas entre os grupos, sem diferenças estatisticamente significativas, o que está em concordância com os achados do presente estudo, que também não encontrou diferença estatística nesta variável.

Segundo Carneiro *et al.* (2021), apesar dos avanços significativos na área de materiais odontológicos que aprimoraram o desempenho das restaurações, ainda existem desafios e incertezas relacionados à formulação de novas composições e às reações químicas dos materiais utilizados na odontologia restauradora. Os autores avaliaram e compararam as propriedades mecânicas e tribológicas de três materiais: uma resina bioativa, uma resina composta e um ionômero de vidro. Os resultados indicaram que a resina bioativa apresentou a maior dureza, seguida pela resina composta e pelo ionômero de vidro. Além disso, a resina bioativa demonstrou maior resistência à fratura. No ensaio tribológico, a taxa de desgaste foi menor para a resina bioativa, seguida pela resina composta e pelo ionômero de vidro. A resina bioativa também apresentou uma superfície lisa, sem trincas visíveis, enquanto os outros materiais mostraram sinais de degradação. Conclui-se, portanto, que a resina bioativa apresenta desempenho superior em relação à tenacidade à fratura, taxa de desgaste e

absorção de impacto quando comparada à resina composta, sendo consideravelmente mais eficaz que o ionômero de vidro.

Marchan *et al.* (2011), ao compararem materiais restauradores, observam que a presença de oxigênio nos estudos *in vitro* pode influenciar diretamente o grau de suscetibilidade aos ácidos, afetando conseqüentemente o peso dos materiais. Isso se deve, entre outros fatores, às condições de armazenamento, à presença de partículas de carga e à formação, ou não, de uma camada polimerizada, além da incorporação de moléculas de água ao material. Essas variáveis podem levar a variações no peso, como observado no grupo controle, imerso em água destilada, no presente estudo.

De acordo com Browning e Dennison (1996), quando um material restaurador é exposto a um pH ácido, seu efeito erosivo resulta na degradação da matriz resinosa, tornando o material mais suscetível à absorção de solventes presentes no ambiente. No presente estudo, o armazenamento em água destilada favoreceu essa absorção, resultando em microinfiltrações devido ao rompimento das partículas orgânicas do material, o que aumentou significativamente sua rugosidade e tornou visíveis trincas a olho nu.

Bowen, Rapson e Dickson (1982) mensuraram a contração de polimerização e a expansão higroscópica de alguns materiais restauradores. Os materiais foram manipulados de acordo com as especificações dos fabricantes e inseridos em moldes cônicos. Após a polimerização, os corpos de prova foram removidos, medidos, pesados e armazenados em água destilada, com acompanhamento do peso e das dimensões por um ano. Os resultados mostraram que todos os materiais apresentaram contração durante a polimerização, aumento de peso e expansão ao serem imersos em água. Os autores concluíram que as resinas compostas podem ser formuladas para compensar a contração de polimerização com a expansão higroscópica. O estudo de Firoozmand (2007) também obteve resultados semelhantes, observando aumento de peso após tratamento ácido de imersão. Tais achados estão em consonância com os encontrados no presente estudo com resinas bioativas, o que corrobora e explica o leve aumento nos pesos após o tratamento ácido nos grupos Coca-Cola e Kapo deste estudo.

Esse fenômeno de expansão e contração é relevante para este estudo sobre resinas bioativas imersas em bebidas ácidas, no qual observamos alterações na superfície do material, como o aumento da rugosidade, tornando a restauração mais suscetível ao acúmulo de placa bacteriana e à formação de lesões de cárie secundárias (Nagar *et al.*, 2018). O consumo de bebidas com pH baixo provoca uma ação erosiva nas resinas, aumentando a interação entre as macromoléculas e, conseqüentemente, a plasticidade e a rugosidade superficial da resina. Materiais restauradores sofrem degradação ao longo do tempo, especialmente em ambientes ácidos, o que se reflete no aumento da rugosidade superficial devido à degradação.

Os tratamentos aplicados impactaram de maneira distinta as propriedades físicas das amostras. O aumento da rugosidade foi significativo nos grupos Controle e Coca-Cola, enquanto o grupo Kapo não apresentou alterações significativas. As medições de dureza não revelaram diferenças significativas entre os grupos. Esses achados fornecem informações valiosas para a seleção de materiais restauradores e tratamentos em ambientes ácidos, ressaltando a importância da escolha adequada de materiais para garantir a longevidade e a eficácia das restaurações dentárias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das propriedades dos materiais restauradores é fundamental para garantir a eficácia e a durabilidade das restaurações dentárias. O presente estudo demonstrou que o consumo de bebidas com pH ácido pode induzir alterações tanto no peso quanto na rugosidade superficial das amostras. Embora tenha ocorrido um aumento no peso, as diferenças entre os grupos não foram estatisticamente significativas. A rugosidade aumentou de forma significativa nos grupos Controle e Coca-Cola, enquanto o grupo Kapo não apresentou alterações significativas. As medições de dureza indicaram normalidade e homogeneidade entre os grupos.

Os materiais restauradores estão em constante evolução para atender às exigências de ambientes desafiadores, como os ácidos. A inovação das resinas bioativas, que liberam flúor, tem mostrado desempenho superior em termos de microdureza e resistência à desmineralização. No entanto, são necessários mais estudos futuros para avaliar de forma comparativa os efeitos das bebidas ácidas sobre essas resinas, a fim de aprimorar o desempenho dos materiais odontológicos.

REFERÊNCIAS

ALAMRI, A. *et al.* The Effect of Bioactive Glass-Enhanced Orthodontic Bonding Resins on Prevention of Demineralization: A Systematic Review. **Molecules**, v. 25, n. 11, p. 2495-2521, 2020.

AMAECHI, B.T.; Higham, S. M.; Edgar, W.M. Techniques of the production of dental eroded lesions in vitro. **J Oral Rehabil**, v.26, n. 1, p. 97-102, 1999.

BADRA, V. V. *et al.* Influence of different beverages on the microhardness and surface roughness of resin composites. **Oper Dent**, v. 30, n. 2, p. 213-9, 2005.

BOWEN, R. L.; RAPSON, J. E.; DICKSON, G. Hardening shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins. **J Dent Res**, v. 61, n.5, p.654-8, 1982.

BROWNING, W. D.; Dennison, J. B. A survey of failure modes in composite resin restorations. **Operative Dentistry**, v. 21, n. 4, p. 160-166, 1996.

Buratto, E. M. *et al.* Avaliação do potencial erosivo aos tecidos duros dentais de bebidas esportivas nacionais. **Rev ABO Nac**, v.10, n. 1, p.109-12, 2002.

CARNEIRO, E. R. *et al.* Mechanical and Tribological Characterization of a Bioactive Composite Resin. **Applied Sciences**, v. 11, n. 17, p. 8256-8277, 2021.

CAVALCANTI, A. L. *et al.* Avaliação in vitro do potencial erosivo de bebidas isotônicas. **Rev Bras Med Esporte**, v. 16, n. 6, p. 455-458, 2010.

CHENG, L. *et al.* Expert consensus on the management of tooth decay. **Int J Oral Sci**, v. 14, n. 1, p. 17-24, 2022.

DASGUPTA, S., *et al.* Comparative evaluation of fluoride release and recharge potential of novel and traditional fluoride-releasing restorative materials: An in vitro study. **J Conserv Dent**, v. 21, n. 6, p. 622-626, 2018.

DAWASAZ, A. A., *et al.* Remineralization of dentin lesions using biomimetic agents: a systematic review and meta-analysis. **Biomimetics (Basel)**, v. 8, n. 2, p. 159-176, 2023.

FERNANDES, J. B. **Formação de cárie por streptococcus mutans nas margens de restaurações com materiais bioativos**. 2022. Monografia (Graduação em Odontologia), Universidade Estadual Paulista (Unesp), São José dos Campos, 2022.

FIROOZMAND, L. M. **Avaliação in vitro do comportamento de resinas compostas, quanto à microdureza, sorção e análise em MEV, após desafio ácido e/ou aplicação de soluções fluoretadas**. São José dos Campos: Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista - UNESP, São José dos Campos, 2007.

FREITAS, M. A. M. P. **Avaliação das propriedades mecânicas e químicas de resinas bioativas experimentais para a colagem de bráquetes**. 2018. Monografia (Graduação em Odontologia), Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

GUEDES, A. P. A. *et al.* Mechanical and surface properties analysis of restorative materials submitted to erosive challenges in situ. **European journal of dentistry**, v. 12, n. 4, p. 559-567, 2018.

HONÓRIO, H. M. *et al.* Effect of prolonged erosive pH cycling on different restorative materials. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 35, n. 12, p. 947-953, 2008.

MARCHAN, S. M. *et al.* Effect of reduced exposure times on the microhardness of nanocomposites polymerized by QTH and second-generation LED curing lights. **Operative Dentistry**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 98-103, 2011.

MARINHO, V. C. C., *et al.* Fluoride Mouthrinses for Preventing Dental Caries in Children and Adolescents. **The Cochrane database of systematic reviews**, v. 7, n. 7, p. CD002284, 2016.

MELO, L. M., *et al.* **O papel da bioatividade na evolução dos materiais odontológicos: uma revisão da literatura**. In: CONGRESSO ODONTOLÓGICO DE BAURU, 2021, Bauru. **Anais**. Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, 2021.

MENDES, R. M. A., *et al.* Análise da microdureza de diferentes materiais restauradores. **Journal of Research in Dentistry**, v. 9, n. 2, p. 05-09, 2021.

NAGAR, P. *et al.* A Comparitive Evaluation of the Effect of Sports and Fruit Drinks on the Surface Roughness of Nanofilled Composite and Light Cure GIC-An In Vitro Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, v. 11, n. 5, p. 417-423, 2018.

O'SULLIVAN, E.A.; Curzon, M.E.J. Salivary factors affecting dental erosion in children. *Caries Res*, v.34, n. 1, p. 82-7, 2010.

PINTO, B. O. M. **A utilização de resinas iônicas em Odontopediatria: revisão narrativa.** 2021. Dissertação (Mestrado em Medicina Dentária), Universidade Fernando Pessoa Faculdade Ciências da Saúde Porto, 2021.

PINTO, N. S. *et al.* Clinical efficacy of bioactive restorative materials in controlling secondary caries: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Oral Health*, v. 23, n. 1, p. 394-406, 2023.

POGGIO, C., *et al.* Esthetic restorative materials and glass ionomer cements: influence of acidic drink exposure on bacterial adhesion. *Eur J Dent*, v. 12, n. 2, p. 204-209, 2018.

SATHIYAMOORTHY, S.; PRABAKAR, J. Assessment of fluoride concentrations in commercially available sites in India. *Revista Internacional de Educação Especial na Primeira Infância*, v. 14, n. 02, p. 2080-2090, 2022.

SOARES, J. P. B.; SAVI, C. G.; TAGUCHI, C. M. C. Efeito da degradação química e mecânica em resinas compostas convencional e bulk fill. *Revista da Faculdade de Odontologia-UPF*, v. 24, n. 3, p. 362-368, 2019.

SOUZA, M. L. A. B. L. R. C. **Avaliação das propriedades físicas e biológicas de materiais restauradores bioativos.** 2019. Dissertação (Mestrado em Dentística), Universidade Estadual Paulista (Unesp), São José dos Campos, 2019.

SVIZERO, N. R. *et al.* Micro-sized erosions in a nanofilled composite after repeated acidic beverage exposures: consequences of clusters dislodgments. *Journal of Applied Oral Science*, v. 22, n. 5, p. 373-381, 2014.

TONPRASONG, W., *et al.* Impact of direct restorative dental materials on surface root caries treatment. Evidence based and current materials development: A systematic review. *Japanese Dental Science Review*, v. 58, n. 1, p. 13-300, 2022.

XAVIER, A. F. C., *et al.* Avaliação in vitro da microdureza do esmalte dentário após exposição a bebidas isotônicas. *Pesq Bras Odontoped Clin Integr*, v.10, n. 1, p.145-50, 2010.

ZAFAR, M. S. *et al.* Nanotechnology and nanomaterials in dentistry. *In: Khurshid, Z., et al. Advanced Dental Biomaterials.* Woodhead Publishing, p. 477-505, 2019.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE RESINA BIOATIVA,
APÓS IMERSÃO EM BEBIDAS COM pH ÁCIDO

ZANDIM, D. L. *et al.* Influência de bebidas isotônicas na remoção de smear layer de superfícies radiculares após raspagem. **Rev Odontol UNESP**, v.37, n. 1, p. 267-73, 2008.