

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 14/02/2027.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

ÍTALO CARDOSO DE CARVALHO

**EFEITO DO DESAFIO EROSIVO-ABRASIVO NO COMPORTAMENTO
ÓPTICO, FÍSICO E MECÂNICO DE MATERIAIS RESTAURADORES
BIOATIVOS**

ÍTALO CARDOSO DE CARVALHO

**EFEITO DO DESAFIO EROSIVO-ABRASIVO NO
COMPORTAMENTO ÓPTICO, FÍSICO E MECÂNICO DE
MATERIAIS RESTAURADORES BIOATIVOS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Dentística Restauradora. Linha de pesquisa: Desempenho de Materiais e Técnicas em Odontologia Restauradora.

Orientadora: Profa. Assist. Dra. Mariane Cintra Mailart

São José dos Campos

2025

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2025]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Carvalho, Ítalo Cardoso de

Efeito do desafio erosivo-abrasivo no comportamento óptico, físico e mecânico de materiais restauradores bioativos. / Ítalo Cardoso de Carvalho. - São José dos Campos : [s.n.], 2025.
125 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2025.

Orientadora: Mariane Cintra Mailart.

1. Biomateriais. 2. Erosão Dentária. 3. Abrasão Dentária. 4. Resinas Compostas. 5. Cor. I. Mailart, Mariane Cintra, orient. II. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. IV. Universidade Estadual Paulista (UNESP). V. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O avanço no desenvolvimento de materiais restauradores não apenas aprimorou os tratamentos, mas também viabilizou o uso de materiais bioativos para restaurações diretas, proporcionando diversos benefícios clínicos. Com o objetivo da pesquisa em avançar com o conhecimento sobre como os materiais restauradores bioativos comportam-se frente à desafios erosivo-abrasivos, o potencial científico encontra-se em contribuir para preencher a lacuna na literatura a respeito de como as propriedades ópticas, físicas e mecânicas desses materiais podem ser alteradas por meio da simulação in vitro de um ambiente bucal desafiador. Isso resultou em dados relevantes para futuras investigações, e que podem ser utilizados para orientar a escolha de materiais na prática clínica, proporcionando tratamentos restauradores longevos. Nesse contexto, é possível mostrar o potencial impacto econômico da pesquisa, uma vez que materiais que apresentem estabilidade com relação às propriedades investigadas reduzem a necessidade de substituições frequentes de restaurações, diminuindo custos para pacientes e profissionais. O uso de materiais restauradores bioativos que apresentam estabilidade com relação às suas propriedades pode melhorar a qualidade de vida dos pacientes, proporcionando restaurações mais eficazes a longo prazo. Isso contribui para manutenção da saúde bucal e menor necessidade de reintervenções, beneficiando tanto pacientes quanto profissionais da odontologia, destacando o potencial impacto social da pesquisa.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Advancements in the development of restorative materials have not only improved treatment outcomes but also enabled the use of bioactive materials for direct restorations, providing several clinical benefits. This study aims to expand knowledge on how bioactive restorative materials respond to erosive-abrasive challenges. Its scientific potential lies in addressing the gap in the literature regarding the impact of in vitro simulated challenging oral environments on the optical, physical and mechanical properties of these materials. The findings will provide relevant data for future investigations and can be used to guide material selection in clinical practice, ultimately leading to more durable restorative treatments. In this context, this study also highlights its potential economic impact, as materials that exhibit stability in the investigated properties reduce the need for frequent restoration replacements, thereby lowering costs for patients and professionals. Additionally, the use of bioactive restorative materials with stable properties can enhance patient's quality of life by ensuring more effective and long-lasting restorations. This contributes to the preservation of oral health and minimizes the need for reinterventions, emphasizing the study's potential social impact.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Assist. Dra. Mariane Cintra Mailart (Orientadora)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Profa. Tit. Alessandra Bühler Borges

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Sávio José Cardoso Bezerra

Universidade de São Paulo (USP)

Faculdade de Odontologia

Campus de São Paulo

São José dos Campos, 14 de fevereiro de 2025.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **Débora Cardoso de Carvalho** e **Edson Lima de Carvalho**. Obrigado por todo o amor e incentivo que sempre me proporcionaram. Vocês abdicaram de muito para que eu pudesse realizar meus sonhos e são meus maiores exemplos de ética e seriedade. **Amo vocês!**

Ao meu primo **Gabriel Cardoso de Souza** (*in memoriam*), que sempre estará presente em minhas conquistas, sei que você vai estar me assistindo da primeira fileira e me aplaudindo de pé. Obrigado por todo o apoio que você me deu em vida.

AGRADECIMENTOS

À **Deus** por me conceder sabedoria e persistência para concluir este trabalho.

À minha orientadora, **Prof^a. Assist. Dr^a. Mariane Cintra Mailart**, minha maior inspiração. Obrigado pela confiança, dedicação, pelo apoio e pelos valiosos ensinamentos que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua orientação paciente e detalhada foi essencial para que eu pudesse me desenvolver, pessoalmente e profissionalmente, buscando sempre a excelência. Você me inspirou, orientou, ensinou, desafiou, escutou, incentivou e todas essas qualidades me transformou. Obrigado por despertar em mim o desejo de buscar mais e mais!

À **Prof^a. Tit. Alessandra Bühler Borges**, por sua sublimidade intelectual que transcende as palavras. Suas apresentações, marcadas por uma elegância e profundidade de pensamento, sempre me inspiraram a buscar a excelência e o porquê das coisas.

Ao **Prof. Tit. Carlos Rocha Gomes Torres**, por não medir esforços em ensinar. Sua paixão pela docência e didática clara e envolvente me inspiram. Obrigado por todas as ideias, congressos que estivemos juntos e principalmente por todo o conhecimento que você compartilhou comigo ao longo dessa jornada.

À **Prof^a. Assist. Dr^a. Daniele Mara da Silva Avila Nogueira e Prof^a. Dr^a. Natália Cortez Gutierrez**, expresse minha mais profunda gratidão por terem aceitado o convite para compor a banca examinadora do meu exame geral de qualificação. A dedicação de ambas em analisar o trabalho e apresentar valiosas contribuições foram fundamentais para o seu aprimoramento.

Ao **Prof. Assoc. Eduardo Bresciani** pelos valiosos conhecimentos compartilhados durante a clínica restauradora no ensino; e, também, por sua didática

impecável que foram fundamentais para despertar meu interesse pela bioestatística.

À **Prof^a. Assist. Dr^a. Maria Filomena Rocha Lima Huhtala**, chefe do departamento de Odontologia Restauradora do ICT-UNESP, por toda delicadeza. Poder aprender com você durante as atividades de docência me despertou uma nova perspectiva no processo de ensino e aprendizagem.

Ao **Prof. Tit. Sergio Eduardo de Paiva Gonçalves** por toda sensibilidade e arte de ensinar. Muito obrigado pelos ensinamentos durante a docência em Oclusão e Escultura Dental, você contribuiu muito com as minhas habilidades pedagógicas.

À **Prof^a. Assoc. Taciana Marco Ferraz Caneppele** por toda confiança, pelos excelentes momentos que estivemos juntos e por ter me apresentado a arte de bordar, muito obrigado.

À **Prof^a. Dr^a. Ana Luiza Barbosa Jurema** pelo tempo que estivemos juntos na pré-clínica com os alunos da Dentística I.

Ao **Prof. Tit. César Rogério Pucci**, diretor do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (ICT-UNESP) por proporcionar um ambiente à pesquisa e ao desenvolvimento científico.

Ao **Prof. Dr. Sávio José Cardoso Bezerra**, por gentilmente aceitar fazer parte da banca deste trabalho.

Ao programa de pós-graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal – CASB, em nome do coordenador **Prof. Tit. Alexandre Luiz Souto Borges**.

Aos técnicos do Laboratório Integrado de Pesquisa em Odontologia Restauradora **Bianca, Jéssica e Clodoaldo** por me acolherem e oferecerem as ferramentas necessárias para a realização deste trabalho.

Às técnicas do Departamento de Odontologia Restauradora **Evelyn, Josi, Gabriela** e a secretária **Lucy** pela paciência e alta eficiência para todas as demandas.

Às alunas que tive a honra de coorientar **Rayssa, Maria e Raquel**. Em especial a Rayssa, que dedicou muitas horas de iniciação científica para que esse trabalho pudesse ser realizado.

A minha família, em especial minha **Tia Rosângela Cardoso de Carvalho (titia)** e minha **Vó Imaculada Cardoso de Carvalho**, por entenderem a minha ausência e mesmo assim continuar me apoiando dia a dia de todas as maneiras possíveis e impossíveis, sem medir esforços.

À **Aparecida de Fátima Viana Gomes de Macedo (Tia Cida)**, que me viu nascer, obrigado por me apresentar o mundo. Sei que você me apoia em todos os momentos da minha vida, obrigado por entender minha ausência e por todas as viagens internacionais que fizemos, conhecer diferentes culturas e idiomas me preparou para os congressos que tive a oportunidade de participar e pelos que ainda virão.

Aos meus eternos mestres e professores **Prof. Dr. Cláudio Luis de Melo-Silva** e **Prof^a. Dr^a. Tereza Cristina Favieri de Melo-Silva** por despertar todo meu interesse pela Dentística e pela Prótese. Jamais vou esquecer o dia em que me tornei bacharel em Odontologia que, em seu discurso, a professora Tereza disse: “façam uma odontologia justa, com ética e, sobretudo, baseada em evidências científicas”. Obrigado por me incentivarem e por acreditarem em mim.

Aos meus amigos, em especial minha irmã de coração **Sarah Aparecida dos Santos Alves**, obrigado pela amizade que construímos a mais de 10 anos e por sempre me apoiar; a minha eterna dupla e amiga da graduação **Flávia Guimarães de Oliveira** por sempre me impulsionar e enxergar o melhor de mim. Estendo, também, esse agradecimento a todos os outros amigos e colegas que a odontologia me presenteou. O tempo voa, mas as pessoas permanecem!

Aos meus amigos da pós-graduação, em especial aos “6 da dentística” **Juliana Benace, Luana Souza, Luis Felipe Abbado, Marcella Rocha e Matheus Costa**. Vocês foram essenciais para minha permanência no programa! Obrigado por me proporcionar muitos e muitos momentos de alegria e serenidade em meio ao ambiente acadêmico, com vocês tudo fica mais leve. Estendo este agradecimento aos meus queridos amigos **Rafael Mendonça, Victor Bottesini e Taiana Prado**, obrigado pela paciência e por toda ajuda. Contem comigo para sempre!

À “**Gangue de VR**”, meus amigos **Ana Paula Gomes, Camila Gobbi e Luis Felipe Abbado** pelos 2 anos que moramos juntos. Vocês me ensinaram muito sobre convivência, respeito às diferenças e a importância de compartilhar responsabilidades. Aprendi a lidar com desafios do dia a dia com maturidade, a valorizar momentos simples e a construir amizades verdadeiras. Sou grato por cada lição, cada risada compartilhada e por tudo que essa experiência me trouxe.

Por fim, à **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pela concessão da bolsa de mestrado, número 88887.978431/2024-00, que possibilitou a dedicação exclusiva a este projeto.

"Todos os nossos sonhos podem se tornar realidade, se tivermos a coragem de persegui-los"

-Walt Disney

RESUMO

Carvalho IC. Efeito do desafio erosivo-abrasivo no comportamento óptico, físico e mecânico de materiais restauradores bioativos [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2025.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da erosão-abrasão no comportamento óptico, físico e mecânico de materiais restauradores bioativos em diferentes tempos. Espécimes de cada material foram confeccionados (n=14): resina composta com partícula S-PRG (Beautifil II LS – BII); resina composta fluida com partícula S-PRG (Beautifil Flow Plus – BFP); compósito bioativo (Activa BioACTIVE Restorative – ABR); alcasite (Cention N – CNN); híbrido de vidro (EQUIA Forte Fil – EFF); cimento de ionômero de vidro convencional (Vidrion R – VDR); resina composta convencional nanoparticulada (Filtek Z350XT – ZXT) e esmalte/dentina bovino (ED). Os espécimes foram submetidos a 15 ciclos de erosão-abrasão. Cada ciclo consistiu na imersão dos espécimes em ácido cítrico a 1% (pH=3,6; 1min), seguido de lavagem com água destilada (10 s), imersão em solução remineralizante por 30 min e escovados em máquina de escovação (150 g e 50 golpes). Inicialmente e a cada 5 ciclos foram avaliados os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE_{00}), translucidez (PT_{00}), fluorescência (URF), brilho (UB), rugosidade (Ra) e microdureza (SMH), mensurados por meio do espectrofotômetro de reflectância (cor e translucidez), espectrofluorofotômetro, medidor de brilho, perfilômetro de contato e microdurômetro com indentador Knoop, respectivamente. Em espécimes adicionais, a análise qualitativa da superfície por meio da microscopia eletrônica de varredura (n=5) e a análise elementar dos materiais (n=5) foram realizadas. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p>0,05$) seguido do teste ANOVA de medidas repetidas e pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Após 5 ciclos de erosão-abrasão, os grupos apresentaram alteração de cor (ΔE_{00}) semelhantes. Após 10 e 15 ciclos, tanto o grupo ED como o VDR apresentaram maiores valores de ΔE_{00} e, considerando o comportamento longitudinal, foram os grupos que apresentaram variação significativa de cor. Para TP_{00} , ABR e ZXT exibiram os maiores valores, enquanto EFF e VDR foram os materiais com menor translucidez nos tempos avaliados. Os materiais restauradores mantiveram os valores de PT_{00} durante os 15 ciclos, diferentemente do grupo ED que apresentou aumento da translucidez em 15 ciclos. Diferentemente, após 5 ciclos, BFP exibiu diminuição na translucidez. Os materiais não apresentaram diferenças nos valores de URF nos diferentes tempos testados, exceto para o grupo ED que apresentou diminuição da URF após 10 ciclos. Houve diminuição significativa da UB após 5 ciclos para BFP, VDR, ZXT e ED. Para BII, ABR, CNN e EFF, a UB apresentou diminuição somente após 10 ciclos. Tanto o grupo VDR como ED apresentaram redução de UB progressivamente até o fim do desafio. Não houve alteração nos valores de Ra nos tempos avaliados, exceto para CNN. Todos os grupos apresentaram estabilidade nos valores de SMH, exceto para VDR e ZXT. ED apresentou diminuição progressiva de SMH. Conclui-se que após o desafio erosivo-abrasivo, os materiais restauradores se mostraram estáveis com relação as propriedades ópticas e mecânicas avaliadas, exceto para o brilho. O efeito da erosão-abrasão foi mais evidente no substrato dental que apresentou maiores alterações na cor, translucidez, fluorescência, brilho e

microdureza. Houve aumento da rugosidade após o desafio erosivo-abrasivo somente para o alcasite.

Palavras-chave: Biomateriais; Erosão Dentária; Abrasão Dentária; Resinas Compostas; Cor.

ABSTRACT

Carvalho IC. Effect of erosive-abrasive challenge on the optical, physical, and mechanical behavior of bioactive restorative materials [dissertation]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2025.

The objective of this study was to evaluate the effect of erosion-abrasion on the optical, physical and mechanical behavior of bioactive restorative materials at different time points. Specimens of each material (n=14) were prepared: resin composite with S-PRG particle (Beautifil II LS – BII); flowable resin composite with S-PRG particle (Beautifil Flow Plus – BFP); bioactive composite (Activa BioACTIVE Restorative – ABR); alkasite (Cention N – CNN); glass hybrid (EQUIA Forte Fil – EFF); conventional glass ionomer cement (Vidrion R – VDR); conventional nanoparticulate resin composite (Filtek Z350XT – ZXT); and bovine enamel/dentin (ED). The specimens were subjected to 15 cycles of erosion-abrasion. Each cycle consisted of immersing the specimens in 1% citric acid (pH=3.6; 1 min), followed by rinsing with distilled water (10 s), immersion in a remineralizing solution for 30 min, and abrasion in a brushing machine (150 g and 50 strokes). Initially and after every 5 cycles, the color parameters (L^* , a^* , b^* , and ΔE_{00}), translucency (TP_{00}), fluorescence (RFU), surface gloss (GU), roughness (Ra), and microhardness (SMH) were evaluated, measured using a reflectance spectrophotometer (color and translucency), spectrofluorophotometer, gloss meter, contact profilometer, and Knoop indenter microhardness tester, respectively. In additional specimens, the qualitative surface analysis via scanning electron microscopy (n=5) and the elemental analysis of materials (n=5) were performed. Data were submitted to the Shapiro-Wilk normality test ($p>0.05$), followed by repeated measures ANOVA and Tukey's test ($\alpha=0.05$). After 5 cycles of erosion-abrasion, the groups showed similar color changes (ΔE_{00}). After 10 and 15 cycles, both the ED and VDR groups showed higher ΔE_{00} values, and considering their longitudinal behavior, these groups exhibited significant color change. For TP_{00} , ABR and ZXT showed the highest values, while EFF and VDR were the materials with the lowest translucency at the evaluated times. The restorative materials maintained their TP_{00} values during the 15 cycles, differently from the ED group, which showed an increase in translucency after 15 cycles. In contrast, after 5 cycles, BFP showed a decrease in translucency. The materials did not show differences in RFU values at the evaluated times, except for the ED group, which showed a decrease in RFU after 10 cycles. There was a significant decrease in GU after 5 cycles for BFP, VDR, ZXT, and ED. For BII, ABR, CNN, and EFF, GU decreased only after 10 cycles. Both the VDR and ED groups showed a progressive reduction in GU until the end of the challenge. There was no change in Ra values at the evaluated time points, except for CNN. All groups showed stability in SMH values, except for VDR and ZXT. ED showed a progressive decrease in SMH. It is concluded that after the erosive-abrasive challenge, the restorative materials showed stability regarding the optical and mechanical properties evaluated, except for gloss. The effect of erosion-abrasion was more evident on the tooth substrate, which showed greater changes in color, translucency, fluorescence, gloss, and microhardness. An increase in surface roughness after the erosive-abrasive challenge was observed only for the alkasite.

Keywords: Biomaterials; Dental Erosion; Dental Abrasion; Resin composite, Color.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático dos fatores de estudo	47
Figura 2 – Representação gráfica dos materiais utilizados no estudo.....	49
Figura 3 – Confeção das matrizes 3D	51
Figura 4 – Impressão das matrizes 3D.....	52
Figura 5 – Aplicação dos materiais nas matrizes	52
Figura 6 – Separação da coroa da raiz dos dentes bovinos.....	53
Figura 7 – Sequência para obtenção dos espécimes de dente.....	55
Figura 8 – Ranhura realizada na base dos espécimes.....	56
Figura 9 – Representação gráfica do polimento dos espécimes	57
Figura 10 – Análise das coordenadas L^* , a^* e b^* sob fundo branco e preto	59
Figura 11 – Análise da fluorescência.....	60
Figura 12 – Análise do brilho	61
Figura 13 – Análise da rugosidade	62
Figura 14 – Análise da microdureza.....	63
Figura 15 – Representação gráfica do desafio erosivo-abrasivo.....	66

Figura 16 – Média e desvio-padrão dos valores obtidos de alteração de cor (ΔE_{00}) nos tempos após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão, com o resultado do teste de Tukey	70
Figura 17 – Média da coordenada L* dos materiais nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão	72
Figura 18 – Média da coordenada a* dos materiais nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão	74
Figura 19 – Média da coordenada b* dos materiais nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão	76
Figura 20 – Média e desvio-padrão dos valores obtidos do parâmetro de translucidez (TP_{00}) nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão, com o resultado do teste de Tukey.....	77
Figura 21 – Média e desvio-padrão dos valores obtidos de unidades relativas de fluorescência nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão, com o resultado do teste de Tukey.....	79
Figura 22 – Média e desvio-padrão dos valores obtidos de brilho nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão, com o resultado do teste de Tukey	81
Figura 23 – Média e desvio-padrão dos valores obtidos de rugosidade nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão, com o resultado do teste de Tukey	82
Figura 24 – Média e desvio-padrão dos valores obtidos de microdureza nos tempos inicial (T0), após 5 (T1), 10 (T2) e 15 (T3) ciclos de erosão-abrasão, com o resultado do teste de Tukey	84

Figura 25 – Fotomicrografias da resina composta convencional com partícula S-PRG (BII) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	86
Figura 26 – Fotomicrografias da resina composta fluida com partícula S-PRG (BFP) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	86
Figura 27 – Fotomicrografias do compósito bioativo (ABR) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	87
Figura 28 – Fotomicrografias do alcasite (CNN) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	87
Figura 29 – Fotomicrografias do híbrido de vidro (EFF) + EQUIA Coat antes e após o desafio erosivo-abrasivo	88
Figura 30 – Fotomicrografias do cimento de ionômero de vidro convencional (VDR) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	88
Figura 31 – Fotomicrografias da resina composta convencional nanoparticulada (ZXT) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	89
Figura 32 – Fotomicrografias do dente (ED) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	89
Figura 33 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados para a resina composta convencional com partícula S-PRG (BII) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	91
Figura 34 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados para a resina composta convencional com partícula S-PRG (BFP) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	92

Figura 35 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados para compósito bioativo (ABR) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	93
Figura 36 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados para o alcasite (CNN) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	94
Figura 37 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados para o híbrido de vidro (EFF) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	95
Figura 38 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados para o cimento de ionômero de vidro convencional (VDR) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	96
Figura 39 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados para a resina composta convencional nanoparticulada (ZXT) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	97
Figura 40 – Micrografia elementar e concentração em peso (%p/p) dos elementos encontrados no dente (ED) antes e após o desafio erosivo-abrasivo	98

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1 Etimologia dos termos “material” e “substância”	25
2.2 Origem da bioatividade	26
2.3 Materiais restauradores bioativos	29
2.3.1 Cimentos de ionômero de vidro	32
2.3.2 Compósitos bioativos	35
2.3.3 Giomer	36
2.3.4 Alkasite	37
2.4 Desgaste dental erosivo	38
2.4.1 Potencial erosivo dos ácidos	40
2.4.2 Efeito nas propriedades ópticas e mecânicas	42
3 PROPOSIÇÃO	45
4 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1 Aspectos éticos	46
4.2 Delineamento experimental	46
4.3 Determinação do tamanho amostral.....	48
4.4 Obtenção dos espécimes	48
4.4.1 Preparo dos espécimes de material restaurador.....	51
4.4.2 Preparo dos espécimes de dente bovino.....	53
4.4.3 Polimento dos espécimes.....	55
4.5 Análise das propriedades ópticas	57
4.5.1 Avaliação da cor	57
4.5.2 Avaliação da translucidez	58
4.5.3 Avaliação da fluorescência.....	59
4.5.4 Avaliação do brilho.....	60
4.6 Análises de superfície.....	61
4.6.1 Avaliação da rugosidade	61
4.6.2 Avaliação da microdureza	62
4.7 Randomização	64
4.8 Desafio erosivo-abrasivo	64
4.8.1 Preparo da solução remineralizante	64
4.8.2 Ciclagem de erosão-abrasão	65
4.9 Análises adicionais	66
4.9.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	66
4.9.2 Espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDS).....	67
4.10 Planejamento estatístico.....	67
5 RESULTADO	69
5.1 Cor	69
5.1.1 Coordenada L*	70
5.1.2 Coordenada a*	72
5.1.3 Coordenada b*	74
5.2 Parâmetro de translucidez.....	76
5.3 Fluorescência	78
5.4 Brilho	79
5.5 Rugosidade	81

5.6 Microdureza	83
5.7 Microscopia eletrônica de varredura	85
5.8 Espectroscopia de raios X por dispersão de energia.....	89
6 DISCUSSÃO	99
7 CONCLUSÃO	107
REFERÊNCIAS.....	108

1 INTRODUÇÃO

Os procedimentos restauradores adesivos envolvem 30% dos tratamentos executados rotineiramente nos consultórios odontológicos (American Academy of Cosmetic Dentistry, 2022). Como consequência, os materiais restauradores estão sendo constantemente reformulados para contribuir não só com maior qualidade e longevidade das restaurações, mas para atender aos princípios estéticos, bem como possibilitar a prática preventiva, com enfoque no conceito de Odontologia Minimamente Invasiva. Nesse contexto, há a inovação no aperfeiçoamento das técnicas e na composição dos materiais restauradores diretos, culminando no desenvolvimento de materiais restauradores que apresentam melhores propriedades mecânicas, ópticas e com potencial de bioatividade (Cadenaro et al., 2023).

O conceito da bioatividade surgiu em 1969 quando Larry L. Hench formulou o vidro bioativo – Bioglass 45S5 (Hench, 2006). O Bioglass 45S5 tem como principal função favorecer os processos de reparação óssea ao se aderir a este tecido sem causar reação inflamatória indesejada ou toxicidade. Mais tarde, os pesquisadores Leonard Litkowski, Gary Hack e David Greenspan adaptaram este material, o vidro bioativo, para atuar na remineralização da dentina e, então, ficou conhecido comercialmente como NovaMin (Scott, 2010). A partir daí, a bioatividade também passou a ser aplicada em outros materiais odontológicos e estes passaram a ter um comportamento ativo no que se refere ao estímulo celular ou ação antimicrobiana.

Nesse contexto, a bioatividade é uma propriedade relacionada à capacidade de um determinado material em induzir fixação mineral específica ao substrato dental (Ladino et al., 2021), promovendo interação direta com os tecidos por meio da precipitação de íons. Dessa forma, os materiais restauradores bioativos são responsáveis pela formação de uma camada superficial mineralizada que se assemelha a apatita (Ladino et al., 2021; Vallittu et al., 2018a). Com o avanço tecnológico e a necessidade de se atender à diferentes propostas, diversas categorias de materiais restauradores bioativos surgiram no mercado (Schmalz et al., 2023). Esses materiais são capazes de estimular as células para reparação dentinária, além de reduzir a recorrência de microfiltração bacteriana e de lesões de cárie na margem da restauração (Melo et al., 2022; Tohidkhah et al., 2022; Zhang et al., 2017).

A característica de bioatividade de tais materiais é resultante da incorporação de partículas que permitem a liberação de íons específicos. Atualmente, há várias categorias de materiais restauradores bioativos. Os cimentos de ionômero de vidro convencionais (CIVs), por exemplo, são considerados a primeira geração dos materiais restauradores bioativos, os quais liberam íons flúor, alumínio e cálcio; induzindo a remineralização do substrato dental subjacente (de Lima Navarro et al., 2021). No entanto, os CIVs apresentam como desvantagem a baixa resistência flexural e alta susceptibilidade ao desgaste (Francois et al., 2020; Toledano et al., 2018; Watson et al., 2014).

Os híbridos de vidro como o EQUIA Forte Fil se diferenciam dos ionômeros convencionais devido ao aprimoramento no processo de fabricação destes materiais, uma vez que as partículas de vidro são ultrafinas e estão distribuídas homogeneamente, formando uma matriz sólida e conferindo melhores propriedades mecânicas ao material em comparação com o CIV convencional, como as resistências à compressão e à tensão (Kunte et al., 2022).

O compósito bioativo, como o Activa BioACTIVE Restorative, é considerado por alguns autores como um cimento de ionômero de vidro modificado por resina (CIVMR) devido a formulação química deste material (Bansal et al., 2016; Dijken et al., 2019; Pameijer et al., 2015); ainda, está presente em sua composição uma mistura de diuretano e outros metacrilatos com ácido poliacrílico modificado, sílica amorfa e fluoreto de sódio (Francois et al., 2020).

Outra categoria de material bioativo disponível inclui os giomers que contêm partículas de vidro pré-reagido (SPR-G – *Surface Pre-reacted Glass*) que, em meio aquoso, são capazes de liberar íons flúor, sódio, borato, alumínio, silicato e estrôncio, bem como podem se recarregar de íons flúor (May, Donly, 2017; Shimazu et al., 2011). Um outro tipo de material considerado como bioativo é o alcasite, comercializado como Cention N. Tal material, quando submetido ao meio ácido, tem sua liberação de íons flúor e cálcio potencializada, tornando-o capaz de precipitar apatita na superfície que está em contato, induzindo a remineralização do tecido dental subjacente (Tiskaya et al., 2019).

Assim, fica claro os benefícios que esses materiais podem trazer quando utilizados nas restaurações, uma vez que se verifica em estudos laboratoriais seus efeitos satisfatórios na redução de biofilme, potencial de prevenção de lesões de cárie

secundárias, bem como capacidade de elevar o pH do meio (Dionysopoulos et al., 2016; Kaga et al., 2014; Nedeljkovic et al., 2016; Samuel, Rubinstein, 2001). No entanto, aliado a esses benefícios que podem impactar positivamente o desempenho clínico das restaurações em relação às propriedades biológicas e funcionais, é importante avaliar as propriedades estéticas dos materiais restauradores bioativos no que se refere ao comportamento óptico e físico, uma vez que a demanda por estética e a preocupação com a aparência do sorriso é uma exigência por parte dos pacientes, mas também é de interesse profissional oferecer tratamentos que possam contribuir com estes requisitos.

Quando a luz incide sobre qualquer material, quatro fenômenos que apresentam influência na forma como o enxergamos ocorrem: reflexão especular, reflexão difusa, absorção e/ou transmissão da luz (Mikhail et al., 2013; Pecho et al., 2016). Em conjunto, esses fenômenos determinam a aparência final do material (Lucena et al., 2021). Contudo, os materiais resinosos são suscetíveis a alteração de cor, seja pela degradação química ou pelo manchamento, o que pode interferir na quantidade de luz transmitida pelo material, diminuindo sua translucidez e afetando sua estética (Sulaiman et al., 2021). Ainda, as características superficiais desses materiais, como a rugosidade, interferem na maneira como a luz, ou comprimento de onda, interage com o material, afetando também sua percepção (Paravina et al., 2004). Por exemplo, superfícies mais lisas, com menor rugosidade superficial, aumentam a reflexão especular da superfície, resultando em um maior brilho percebido (Hosoya et al., 2011).

São escassos estudos que avaliam o comportamento dos materiais restauradores bioativos em relação a alteração de cor, parâmetros de translucidez e fluorescência, bem como o brilho. Ao se realizar uma busca na base de dados PubMed com os termos "*bioactive materials dentistry*", mais de 2,5 mil estudos sobre esse assunto podem ser acessados. No entanto, ao adicionar, por exemplo, o termo "*color*", somente 3,08% dos estudos avaliaram esta propriedade óptica de algum material restaurador bioativo. Dentre estes estudos, são escassas as comparações das propriedades ópticas desses materiais bioativos com o substrato dental, o que se torna um diferencial relevante para a presente proposta, uma vez que será avaliado o comportamento óptico e mecânico de diferentes materiais em comparação com o substrato dental. Assim, a utilização de dentes bovinos servirá como ponto de

referência para a comparação das propriedades ópticas destes materiais.

Ainda, é importante considerar os hábitos e a saúde bucal do paciente não só na longevidade das restaurações, mas também em sua aparência. Sabe-se que a prevalência de desgaste dental erosivo aumenta conforme a idade e, na dentição permanente, pode variar de 20 a 45% (Schlueter,Luka, 2018), e é motivo de grande preocupação por parte dos pacientes e profissionais. O desgaste dental erosivo se caracteriza pela perda de estrutura dental devido a interação entre o processo de desmineralização ácida de origem não bacteriana somado aos efeitos da abrasão e atrição (Shellis,Addy, 2014). Assim, as restaurações definitivas também podem ser afetadas por esse processo, levando ao desgaste do material (Mourouzis et al., 2023; Sulaiman et al., 2021), e, desta forma, podendo alterar suas propriedades ópticas. Assim, materiais restauradores bioativos podem ter suas propriedades ópticas alteradas devido a potencial alteração em sua composição química, com a liberação dos íons ao meio, bem como a degradação da matriz resinosa.

Torna-se então importante a investigação dos possíveis efeitos nas propriedades ópticas, físicas e mecânicas de materiais restauradores bioativos quando submetidos ao desafio erosivo-abrasivo. Por meio de uma avaliação longitudinal, será possível compreender o comportamento dos materiais com relação à cor, parâmetro de translucidez, fluorescência e o brilho, bem como a rugosidade e microdureza, com o intuito de guiar a escolha de materiais restauradores na prática clínica.

7 CONCLUSÃO

Após o desafio erosivo-abrasivo, os materiais restauradores se mostraram estáveis com relação as propriedades ópticas e mecânicas avaliadas, exceto para o brilho. O efeito da erosão-abrasão foi mais evidente no substrato dental que apresentou maiores alterações na cor, translucidez, fluorescência, brilho e microdureza. Houve aumento da rugosidade após o desafio erosivo-abrasivo somente para o alcasite.

REFERÊNCIAS

Abuljadayel R, Mushayt A, Al Mutairi T, Sajini S. Evaluation of Bioactive Restorative Materials' Color Stability: Effect of Immersion Media and Thermocycling. *Cureus*. 2023; doi: 10.7759/cureus.43038.

Akman H, Tosun G. Clinical evaluation of bulk-fill resins and glass ionomer restorative materials: A 1-year follow-up randomized clinical trial in children. *Niger J Clin Pract*. 2020;23(4):489. doi: 10.4103/njcp.njcp_519_19.

Albelasy EH, Hamama HH, Chew HP, Montasser M, Mahmoud SH. Clinical performance of two ion-releasing bulk-fill composites in class I and class II restorations: A two-year evaluation. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2024;36(5):723–36. doi: 10.1111/jerd.13193.

Alqarni AS, AlGomaiah MA, AlEdaili EA, Algamaiah H. Assessment of Erosive Effect of Various Beverages on Esthetic Restorative Materials Used in Primary Teeth: An In Vitro Study. *J Contemp Dent Pract*. 2023;24(7):473–6. doi: 10.5005/jp-journals-10024-3488.

Amaya-Pajares SP, Koi K, Watanabe H, da Costa JB, Ferracane JL. Development and maintenance of surface gloss of dental composites after polishing and brushing: Review of the literature. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2022;34(1):15–41. doi: 10.1111/jerd.12875.

American Academy of Cosmetic Dentistry. *Cosmetic Dentistry: State of Industry Survey 2022*;1–26.

Araujo MP, Innes NP, Bonifácio CC, Hesse D, Olegário IC, Mendes FM, et al. Atraumatic restorative treatment compared to the Hall Technique for occluso-proximal carious lesions in primary molars; 36-month follow-up of a randomised control trial in a school setting. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):318. doi: 10.1186/s12903-020-01298-x.

Arocha MA, Mayoral JR, Lefever D, Mercade M, Basilio J, Roig M. Color stability of siloranes versus methacrylate-based composites after immersion in staining solutions. *Clin Oral Investig*. 2013;17(6):1481–7. doi: 10.1007/s00784-012-0837-7.

Arola DD, Gao S, Zhang H, Masri R. The Tooth. *Dent Clin North Am*. 2017;61(4):651–68. doi: 10.1016/j.cden.2017.05.001.

Attin T, Koidl U, Buchalla W, Schaller HG, Kielbassa AM, Hellwig E. Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. *Arch Oral Biol*. 1997;42(3):243–50. doi: 10.1016/0003-9969(06)00073-2.

Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A. The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion–abrasion experiments. *J Dent.* 2007;35(10):773–7. doi: 10.1016/j.jdent.2007.07.007.

Augusto MG, Borges AB, Pucci CR, Mailart MC, Torres CRG. Effect of whitening toothpastes on wear and roughness of ormocer and methacrylate-based composites. *Am J Dent.* 2018;31(6):303–8.

Austin RS, Stenhagen KS, Hove LH, Dunne S, Moazzez R, Bartlett DW, et al. A qualitative and quantitative investigation into the effect of fluoride formulations on enamel erosion and erosion–abrasion in vitro. *J Dent.* 2011;39(10):648–55. doi: 10.1016/j.jdent.2011.07.006.

Azmy E, Al-Kholy MRZ, Fattouh M, Kenawi LMM, Helal MA. Impact of Nanoparticles Additions on the Strength of Dental Composite Resin. *Int J Biomater.* 2022;2022:1–9. doi: 10.1155/2022/1165431.

Balkaya H, Arslan S. A Two-year Clinical Comparison of Three Different Restorative Materials in Class II Cavities. *Oper Dent.* 2020;45(1):E32–42. doi: 10.2341/19-078-C. Ball P. *The Elements: A Very Short Introduction.* Oxford university press; 2002.

Bansal R, Burgess J, Lawson NC. Wear of an enhanced resin-modified glass-ionomer restorative material. *Am J Dent.* 2016;29(3):171–4.

Barbour ME, Lussi A. *Erosion in Relation to Nutrition and the Environment.* 2014. p. 143–54. doi: 10.1159/000359941.

Bartlett D. *Intrinsic Causes of Erosion. Dental Erosion.* Basel: KARGER; 2006. p. 119–39. doi: 10.1159/000093359.

BioTek Instruments I. *Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader: User Manual.* BioTek Instruments. 2022.

Bollen CML, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: A review of the literature. *Dental Materials.* 1997;13(4):258–69. doi: 10.1016/S0109-5641(97)80038-3.

Bora A, Mawlong LPL, Das R, Giri PK. Understanding the excitation wavelength dependent spectral shift and large exciton binding energy of tungsten disulfide quantum dots and its interaction with single-walled carbon nanotubes. *J Colloid Interface Sci.* 2020;561:519–32. doi: 10.1016/j.jcis.2019.11.027.

Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent.* 2004;29(6):698–704.

Briso A, Caruzo L, Guedes A, Catelan A, Santos P dos. In Vitro Evaluation of Surface Roughness and Microhardness of Restorative Materials Submitted to Erosive Challenges. *Oper Dent*. 2011;36(4):397–402. doi: 10.2341/10-356-L.

Burwell A, Jennings D, Muscle D, Greenspan DC. NovaMin and dentin hypersensitivity--in vitro evidence of efficacy. *J Clin Dent*. 2010;21(3):66–71.

Cadenaro M, Josic U, Maravić T, Mazzitelli C, Marchesi G, Mancuso E, et al. Progress in Dental Adhesive Materials. *J Dent Res*. 2023;102(3):254–62. doi: 10.1177/00220345221145673.

Carvalho FG, Sampaio CS, Fucio SBP, Carlo HL, Correr-Sobrinho L, Puppin-Rontani RM. Effect of chemical and mechanical degradation on surface roughness of three glass ionomers and a nanofilled resin composite. *Oper Dent*. 2012;37(5):509–17. doi: 10.2341/10-406-L.

de Carvalho Sales-Peres SH, Goya S, de Araújo JJ, Sales-Peres A, Lauris JRP, Buzalaf MAR. Prevalence of dental wear among 12-year-old Brazilian adolescents using a modification of the tooth wear index. *Public Health*. 2008;122(9):942–8. doi: 10.1016/j.puhe.2007.12.008.

Carvalho TS, Lussi A. Combined effect of a fluoride-, stannous- and chitosan-containing toothpaste and stannous-containing rinse on the prevention of initial enamel erosion–abrasion. *J Dent*. 2014;42(4):450–9. doi: 10.1016/j.jdent.2014.01.004.

Cavalheiro JP, Souza MIAV, Jeremias F. Effect of erosive challenge before and after the restoration of primary teeth. *Gen Dent*. 2020;68(5):36–41.

Cestari F, Agostinacchio F, Galotta A, Chemello G, Motta A, M. Sglavo V. Nano-Hydroxyapatite Derived from Biogenic and Bioinspired Calcium Carbonates: Synthesis and In Vitro Bioactivity. *Nanomaterials*. 2021;11(2):264. doi: 10.3390/nano11020264.

Chen W-C, Kung J-C, Chen C-H, Hsiao Y-C, Shih C-J, Chien C-S. Effects of bioactive glass with and without mesoporous structures on desensitization in dentinal tubule occlusion. *Appl Surf Sci*. 2013;283:833–42. doi: 10.1016/j.apsusc.2013.07.027.

Cilli R, Pereira JC, Prakki A. Properties of dental resins submitted to pH catalysed hydrolysis. *J Dent*. 2012;40(12):1144–50. doi: 10.1016/j.jdent.2012.09.012.

Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2^a ed. Lawrence Erlbaum Associates; 1988.

Crisp S, Ferner AJ, Lewis BG, Wilson AD. Properties of improved glass-ionomer cement formulations. *J Dent*. 1975;3(3):125–30. doi: 10.1016/0300-5712(75)90063-9.

Čulina MZ, Rajić VB, Šalinović I, Klarić E, Marković L, Ivanišević A. Influence of pH Cycling on Erosive Wear and Color Stability of High-Viscosity Glass Ionomer Cements. *Materials*. 2022;15(3):923. doi: 10.3390/ma15030923.

Dammaschke T. The history of direct pulp capping. *J Hist Dent*. 2008;56(1):9–23.

Demarco FF, Collares K, Coelho-de-Souza FH, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR, et al. Anterior composite restorations: A systematic review on long-term survival and reasons for failure. *Dental Materials*. 2015;31(10):1214–24. doi: 10.1016/j.dental.2015.07.005.

Demarco FF, Collares K, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR de, Opdam NJ. Should my composite restorations last forever? Why are they failing? *Braz Oral Res*. 2017;31(suppl 1). doi: 10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0056.

Dijken JWV, Pallesen U, Benetti A. A randomized controlled evaluation of posterior resin restorations of an altered resin modified glass-ionomer cement with claimed bioactivity. *Dental Materials*. 2019;35(2):335–43. doi: 10.1016/j.dental.2018.11.027.

Dionysopoulos D, Koliniotou-Koumpia E, Helvatzoglou-Antoniades M, Kotsanos N. In Vitro Inhibition of Enamel Demineralisation by Fluoride-releasing Restorative Materials and Dental Adhesives. *Oral Health Prev Dent*. 2016;14(4):371–80. doi: 10.3290/j.ohpd.a35747.

Dorri M, Martinez-Zapata MJ, Walsh T, Marinho VC, Sheiham deceased A, Zaror C. Atraumatic restorative treatment versus conventional restorative treatment for managing dental caries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017;2018(3). doi: 10.1002/14651858.CD008072.pub2.

Durrant L, Mutahar M, Daghreery AA, Albar NH, Alwadai GS, Alqahtani SA, et al. Clinical Performance of Glass Ionomer Cement in Load-Bearing Restorations: A Systematic Review. *Medical Science Monitor*. 2024;30. doi: 10.12659/MSM.943489.

Dziadek M, Zagrajczuk B, Jelen P, Olejniczak Z, Cholewa-Kowalska K. Structural variations of bioactive glasses obtained by different synthesis routes. *Ceram Int*. 2016;42(13):14700–9. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.06.095.

Ericsson Y. Investigations on the Occurrence and Significance of Citric Acid in the Saliva. *J Dent Res*. 1953;32(6):850–8. doi: 10.1177/00220345530320061301.

Fatemeh M, Navabazam A, Samanizadeh N. Preparation of Hydroxyapatite Nanoparticles from Natural Teeth. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2021;57(2):152–62. doi: 10.1134/S1061830921020091.

Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007;39(2):175–91. doi: 10.3758/BF03193146.

Featherstone JDB, Lussi A. Understanding the Chemistry of Dental Erosion. *Dental Erosion*. Basel: KARGER; 2006. p. 66–76. doi: 10.1159/000093351.

Fernandes JB, Contreras SM, da Silva Spinola M, Batista GR, Bresciani E, Caneppele TMF. Do bioactive materials show greater retention rates in restoring permanent teeth than non-bioactive materials? A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Oral Investig*. 2023;28(1):44. doi: 10.1007/s00784-023-05414-3.

Fernando D, Attik N, Pradelle-Plasse N, Jackson P, Grosogeat B, Colon P. Bioactive glass for dentin remineralization: A systematic review. *Materials Science and Engineering: C*. 2017;76:1369–77. doi: 10.1016/j.msec.2017.03.083.

Francisconi LF, Honório HM, Rios D, Magalhães AC, Machado MAAM, Buzalaf MAR. Effect of Erosive pH Cycling on Different Restorative Materials and on Enamel Restored with These Materials. *Oper Dent*. 2008;33(2):203–8. doi: 10.2341/07-77.

Francois P, Fouquet V, Attal J-P, Dursun E. Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Materials (Basel)*. 2020;13(10). doi: 10.3390/ma13102313.

Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossù M, Riccitiello F, Prati C. Calcium Silicate and Calcium Hydroxide Materials for Pulp Capping: Biointeractivity, Porosity, Solubility and Bioactivity of Current Formulations. *J Appl Biomater Funct Mater*. 2015;13(1):43–60. doi: 10.5301/jabfm.5000201.

Ganss C. Is Erosive Tooth Wear an Oral Disease? 2014. p. 16–21. doi: 10.1159/000359931.

Ganss C, von Hinckeldey J, Tolle A, Schulze K, Klimek J, Schlueter N. Efficacy of the stannous ion and a biopolymer in toothpastes on enamel erosion/abrasion. *J Dent*. 2012;40(12):1036–43. doi: 10.1016/j.jdent.2012.08.005.

Ganss C, Lussi A, Grunau O, Klimek J, Schlueter N. Conventional and Anti-Erosion Fluoride Toothpastes: Effect on Enamel Erosion and Erosion-Abrasion. *Caries Res*. 2011;45(6):581–9. doi: 10.1159/000334318.

Ganss C, Möllers M, Schlueter N. Do Abrasives Play a Role in Toothpaste Efficacy against Erosion/Abrasion? *Caries Res*. 2017;51(1):52–7. doi: 10.1159/000452867.
ten Gate JM, Imfeld T. Dental erosion, summary. *Eur J Oral Sci*. 1996;104(2):241–4. doi: 10.1111/j.1600-0722.1996.tb00073.x.

Gomes de Araújo-Neto V, Sebold M, Fernandes de Castro E, Feitosa VP, Giannini M. Evaluation of physico-mechanical properties and filler particles characterization of conventional, bulk-fill, and bioactive resin-based composites. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021;115:104288. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104288.

Gupta N, Jaiswal S, Nikhil V, Gupta S, Jha P, Bansal P. Comparison of fluoride ion release and alkalizing potential of a new bulk-fill alkasite. *Journal of Conservative Dentistry*. 2019;22(3):296. doi: 10.4103/JCD.JCD_74_19.

Gurgan S, Kutuk ZB, Ozturk C, Soleimani R, Cakir FY. Clinical Performance of a Glass Hybrid Restorative in Extended Size Class II Cavities. *Oper Dent*. 2020;45(3):243–54. doi: 10.2341/18-282-C.

Hajdu AI, Dumitrescu R, Balean O, Lalescu DV, Buzatu BLR, Bolchis V, et al. Enhancing Esthetics in Direct Dental Resin Composite: Investigating Surface Roughness and Color Stability. *J Funct Biomater*. 2024;15(8):208. doi: 10.3390/jfb15080208.

Hara AT, Barlow AP, Eckert GJ, Zero DT. Novel in-situ longitudinal model for the study of dentifrices on dental erosion–abrasion. *Eur J Oral Sci*. 2014;122(2):161–7. doi: 10.1111/eos.12108.

Hara AT, González-Cabezas C, Creeth J, Parmar M, Eckert GJ, Zero DT. Interplay between fluoride and abrasivity of dentifrices on dental erosion–abrasion. *J Dent*. 2009;37(10):781–5. doi: 10.1016/j.jdent.2009.06.006.

Hara AT, Lippert F, Zero DT. Interplay between Experimental Dental Pellicles and Stannous-Containing Toothpaste on Dental Erosion-Abrasion. *Caries Res*. 2013;47(4):325–9. doi: 10.1159/000347051.

Hench LL. The story of Bioglass®. *J Mater Sci Mater Med*. 2006;17(11):967–78. doi: 10.1007/s10856-006-0432-z.

Hench LL, Splinter RJ, Allen WC, Greenlee TK. Bonding mechanisms at the interface of ceramic prosthetic materials. *J Biomed Mater Res*. 1971;5(6):117–41. doi: 10.1002/jbm.820050611.

Hong D-W, Lin X-J, Wiegand A, Yu H. Does delayed toothbrushing after the consumption of erosive foodstuffs or beverages decrease erosive tooth wear? A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2020;24(12):4169–83. doi: 10.1007/s00784-020-03614-9.

Hooper S, West NX, Pickles MJ, Joiner A, Newcombe RG, Addy M. Investigation of erosion and abrasion on enamel and dentine: a model in situ using toothpastes of different abrasivity. *J Clin Periodontol*. 2003;30(9):802–8. doi: 10.1034/j.1600-051X.2003.00367.x.

Hosoya Y, Shiraishi T, Odatsu T, Nagafuji J, Kotaku M, Miyazaki M, et al. Effects of polishing on surface roughness, gloss, and color of resin composites. *J Oral Sci*. 2011;53(3):283–91. doi: 10.2334/josnusd.53.283.

Hughes JA, West NX, Parker DM, van den Braak MH, Addy M. Effects of pH and concentration of citric, malic and lactic acids on enamel, in vitro. *J Dent*. 2000;28(2):147–52. doi: 10.1016/S0300-5712(99)00060-3.

Ibrahim NF, Mohamad H, Mohd Noor SNF. Characterization on melt-derived bioactive glass powder from SiO₂-CaO-Na₂O-P₂O₅ system. *J Non Cryst Solids*. 2017;462:23–31. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2017.01.040.

Imazato S, Nakatsuka T, Kitagawa H, Sasaki J-I, Yamaguchi S, Ito S, et al. Multiple-Ion Releasing Bioactive Surface Pre-Reacted Glass-Ionomer (S-PRG) Filler: Innovative Technology for Dental Treatment and Care. *J Funct Biomater*. 2023;14(4):236. doi: 10.3390/jfb14040236.

Islam MS, Nassar M, Elsayed MA, Jameel DB, Ahmad TT, Rahman MM. In Vitro Optical and Physical Stability of Resin Composite Materials with Different Filler Characteristics. *Polymers (Basel)*. 2023;15(9):2121. doi: 10.3390/polym15092121.

Jaeggi T, Lussi A. Prevalence, Incidence and Distribution of Erosion. *Dental Erosion*. Basel: KARGER; 2006. p. 44–65. doi: 10.1159/000093350.

Jain V, Platt JA, Moore K, Spohr AM, Borges GA. Color stability, gloss, and surface roughness of indirect composite resins. *J Oral Sci*. 2013;55(1):9–15. doi: 10.2334/josnusd.55.9.

Jassé FF, de Campos EA, Lefever D, Di Bella E, Salomon JP, Krejci I, et al. Influence of filler charge on gloss of composite materials before and after in vitro toothbrushing. *J Dent*. 2013;41:e41–4. doi: 10.1016/j.jdent.2013.04.011.

Jefferies SR. Bioactive and Biomimetic Restorative Materials: A Comprehensive Review. Part I. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2014;26(1):14–26. doi: 10.1111/jerd.12069.

Jing Q, Liu S, Liu Y, Bi Y. Fluorescent Characteristics of Strontium Tetraborate (SrB₄O₇) Doped with Divalent Lanthanide Elements. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. 2016;36(1):130–3.

Johnston WM. Review of Translucency Determinations and Applications to Dental Materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2014;26(4):217–23. doi: 10.1111/jerd.12112.

Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthodont*. 1995;8(1):79–86.
Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent*. 2004;32:3–12. doi: 10.1016/j.jdent.2003.10.013.

Kaga M, Kakuda S, Ida Y, Toshima H, Hashimoto M, Endo K, et al. Inhibition of enamel demineralization by buffering effect of S-PRG filler-containing dental sealant. *Eur J Oral Sci*. 2014;122(1):78–83. doi: 10.1111/eos.12107.

Kaizer MR, de Oliveira-Ogliari A, Cenci MS, Opdam NJM, Moraes RR. Do nanofill or submicron composites show improved smoothness and gloss? A systematic review of in vitro studies. *Dental Materials*. 2014a;30(4):e41–78. doi: 10.1016/j.dental.2014.01.001.

- Kaizer MR, de Oliveira-Ogliari A, Cenci MS, Opdam NJM, Moraes RR. Do nanofill or submicron composites show improved smoothness and gloss? A systematic review of in vitro studies. *Dental Materials*. 2014b;30(4):e41–78. doi: 10.1016/j.dental.2014.01.001.
- Kang S, Ryu S-Y, Kim K-M, Park S-H. Effect of thickness on the translucency of resin-based composites and glass-ceramics. *Dent Mater J*. 2023;42(1):2022–93. doi: 10.4012/dmj.2022-093.
- Kasraei S, Haghi S, Valizadeh S, Panahandeh N, Nejadkarimi S. Phosphate Ion Release and Alkalinizing Potential of Three Bioactive Dental Materials in Comparison with Composite Resin. *Int J Dent*. 2021;2021:1–8. doi: 10.1155/2021/5572569.
- Kaur G, Pandey OP, Singh K, Homa D, Scott B, Pickrell G. A review of bioactive glasses: Their structure, properties, fabrication and apatite formation. *J Biomed Mater Res A*. 2014;102(1):254–74. doi: 10.1002/jbm.a.34690.
- Kent BE, Lewis BG, Wilson AD. The properties of a glass ionomer cement. *Br Dent J*. 1973;135(7):322–6. doi: 10.1038/sj.bdj.4803083.
- Khoroushi M, Keshani F. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dent Res J (Isfahan)*. 2013;10(4):411–20.
- Khvostenko D, Hilton TJ, Ferracane JL, Mitchell JC, Kruzic JJ. Bioactive glass fillers reduce bacterial penetration into marginal gaps for composite restorations. *Dent Mater*. 2016;32(1):73–81. doi: 10.1016/j.dental.2015.10.007.
- Kim D, Park S-H. Color and Translucency of Resin-based Composites: Comparison of A-shade Specimens Within Various Product Lines. *Oper Dent*. 2018;43(6):642–55. doi: 10.2341/17-228-L.
- Kim J, Shin W. How to Do Random Allocation (Randomization). *Clin Orthop Surg*. 2014;6(1):103. doi: 10.4055/cios.2014.6.1.103.
- Klein C, Wolff D, Ohle C VON, Meller C. The fluorescence of resin-based composites: An analysis after ten years of aging. *Dent Mater J*. 2021;40(1):94–100. doi: 10.4012/dmj.2019-320.
- Klimek J, Hellwig E, Ahrens G. Fluoride Taken Up by Plaque, by the Underlying Enamel and by Clean Enamel from Three Fluoride Compounds in vitro. *Caries Res*. 1982;16(2):156–61. doi: 10.1159/000260592.
- Kraft A. The Determination of the pKa of Multiprotic, Weak Acids by Analyzing Potentiometric Acid-Base Titration Data with Difference Plots. *J Chem Educ*. 2003;80(5):554. doi: 10.1021/ed080p554.
- Krishnan V, Lakshmi T. Bioglass: A novel biocompatible innovation. *J Adv Pharm Technol Res*. 2013;4(2):78–83. doi: 10.4103/2231-4040.111523.

Krithikadatta J, Datta M, Gopikrishna V. CRIS Guidelines (Checklist for Reporting In-vitro Studies): A concept note on the need for standardized guidelines for improving quality and transparency in reporting in-vitro studies in experimental dental research. *Journal of Conservative Dentistry*. 2014;17(4):301. doi: 10.4103/0972-0707.136338.

Kukiattrakoon B, Siriporananon C, Ornprasert N, Mettasitthikorn W, Likhitpreeda S, Waewsanga S, et al. The effect of different beverages on surface hardness of nanohybrid resin composite and giomer. *Journal of Conservative Dentistry*. 2014;17(3):261. doi: 10.4103/0972-0707.131791.

Kunte S, Shah SB, Patil S, Shah P, Patel A, Chaudhary S. Comparative Evaluation of Compressive Strength and Diametral Tensile Strength of Conventional Glass Ionomer Cement and a Glass Hybrid Glass Ionomer Cement. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2022;15(4):398–401. doi: 10.5005/jp-journals-10005-2407.

Kütt A, Selberg S, Kaljurand I, Tshepelevitsh S, Heering A, Darnell A, et al. pKa values in organic chemistry – Making maximum use of the available data. *Tetrahedron Lett*. 2018;59(42):3738–48. doi: 10.1016/j.tetlet.2018.08.054.

Ladino LG, Bernal A, Calderón D, Cortés D. Bioactive materials in restorative dentistry: a Literature review. *SVOA Dentistry*. 2021;2(2):74–81.

Lagerweij MD, Buchalla W, Kohnke S, Becker K, Lennon ÁM, Attin T. Prevention of Erosion and Abrasion by a High Fluoride Concentration Gel Applied at High Frequencies. *Caries Res*. 2006;40(2):148–53. doi: 10.1159/000091062.

Lardani L, Derchi G, Marchio V, Carli E. One-Year Clinical Performance of Activa™ Bioactive-Restorative Composite in Primary Molars. *Children*. 2022;9(3):433. doi: 10.3390/children9030433.

Lasota A, Gorzelak M, Turżańska K, Kłapeć W, Jarzębski M, Blicharski T, et al. The Ways of Forming and the Erosion/Decay/Aging of Bioapatites in the Context of the Reversibility of Apatites. *Int J Mol Sci*. 2024;25(20):11297. doi: 10.3390/ijms252011297.

Leal C de FC, Miranda SB, Alves Neto EL de, Freitas K, de Sousa WV, Lins RBE, et al. Color Stability of Single-Shade Resin Composites in Direct Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Polymers (Basel)*. 2024;16(15):2172. doi: 10.3390/polym16152172.

L'Eclairage CI de. CIE 15: Technical Report: 2004.

Lee, Huang, Lin, Shih. Leached components from dental composites in oral simulating fluids and the resultant composite strengths. *J Oral Rehabil*. 1998;25(8):575–88. doi: 10.1046/j.1365-2842.1998.00284.x.

Lee Y-K. Translucency of human teeth and dental restorative materials and its clinical relevance. *J Biomed Opt*. 2015a;20(4):045002. doi: 10.1117/1.JBO.20.4.045002.

- Lee Y-K. Fluorescence properties of human teeth and dental calculus for clinical applications. *J Biomed Opt.* 2015b;20(4):040901. doi: 10.1117/1.JBO.20.4.040901.
- Lee Y-K. Influence of scattering/absorption characteristics on the color of resin composites. *Dental Materials.* 2007;23(1):124–31. doi: 10.1016/j.dental.2006.01.007.
- Leloup G, Holvoet PE, Bebelman S, Devaux J. Raman scattering determination of the depth of cure of light-activated composites: influence of different clinically relevant parameters. *J Oral Rehabil.* 2002;29(6):510–5. doi: 10.1046/j.1365-2842.2002.00889.x.
- de Lima Navarro MF, Pascotto RC, Borges AFS, Soares CJ, Raggio DP, Rios D, et al. Consensus on glass-ionomer cement thresholds for restorative indications. *J Dent.* 2021;107:103609. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103609.
- Lippert F, Arrageg MA, Eckert GJ, Hara AT. Interaction between toothpaste abrasivity and toothbrush filament stiffness on the development of erosive/abrasive lesions in vitro. *Int Dent J.* 2017;67(6):344–50. doi: 10.1111/idj.12305.
- Lippert VF, Bresciani E, Mota EG, Bittencourt HR, Kramer PF, Spohr AM. In vitro comparison of one-step, two-step, and three-step polishing systems on the surface roughness and gloss of different resin composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2024;36(5):785–95. doi: 10.1111/jerd.13189.
- Lopes IAD, Monteiro PJVC, Mendes JJB, Gonçalves JMR, Caldeira FJF. The effect of different finishing and polishing techniques on surface roughness and gloss of two nanocomposites. *Saudi Dent J.* 2018;30(3):197–207. doi: 10.1016/j.sdentj.2018.04.003.
- Lopes RM, da Silva JSA, João-Souza SH, Maximiano V, Machado AC, Scaramucci T, et al. Enamel surface loss after erosive and abrasive cycling with different periods of immersion in human saliva. *Arch Oral Biol.* 2020;109:104549. doi: 10.1016/j.archoralbio.2019.104549.
- Lucena C, Ruiz-López J, Pulgar R, Della Bona A, Pérez MM. Optical behavior of one-shaded resin-based composites. *Dental Materials.* 2021;37(5):840–8. doi: 10.1016/j.dental.2021.02.011.
- Luo MR, Cui G, Rigg B. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Res Appl.* 2001;26(5):340–50. doi: 10.1002/col.1049.
- Lussi A. Erosive Tooth Wear – A Multifactorial Condition of Growing Concern and Increasing Knowledge. *Dental Erosion.* Basel: KARGER; 2006. p. 1–8. doi: 10.1159/000093343.
- Lussi A, Carvalho TS. Erosive Tooth Wear: A Multifactorial Condition of Growing Concern and Increasing Knowledge. 2014. p. 1–15. doi: 10.1159/000360380.
- Lussi A, Hellwig E. Risk Assessment and Causal Preventive Measures. 2014. p. 220–9. doi: 10.1159/000360612.

Lussi A, Jaeggi T, Zero D. The Role of Diet in the Aetiology of Dental Erosion. *Caries Res.* 2004;38(Suppl. 1):34–44. doi: 10.1159/000074360.

Lussi A, Lussi J, Carvalho TS, Cvikl B. Toothbrushing after an erosive attack: will waiting avoid tooth wear? *Eur J Oral Sci.* 2014;122(5):353–9. doi: 10.1111/eos.12144.

Macgregor IDM, Rugg-Gunn AJ. Toothbrushing duration in 60 uninstructed young adults. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1985;13(3):121–2. doi: 10.1111/j.1600-0528.1985.tb00423.x.

Mangueira DF, Sampaio FC, Oliveira AF. Association Between Socioeconomic Factors and Dental Erosion in Brazilian Schoolchildren. *J Public Health Dent.* 2009;69(4):254–9. doi: 10.1111/j.1752-7325.2009.00131.x.

Manhart J, Kunzelmann K-H, Chen HY, Hickel R. Mechanical properties of new composite restorative materials. *J Biomed Mater Res.* 2000;53(4):353–61. doi: 10.1002/1097-4636(2000)53:4<353::AID-JBM9>3.0.CO;2-B.

May E, Donly KJ. Fluoride release and re-release from a bioactive restorative material. *Am J Dent.* 2017;30(6):305–8.

Mehdawi IM, Pratten J, Spratt DA, Knowles JC, Young AM. High strength remineralizing, antibacterial dental composites with reactive calcium phosphates. *Dental Materials.* 2013;29(4):473–84. doi: 10.1016/j.dental.2013.01.010.

Melo MAS, Mokeem L, Sun J. Bioactive Restorative Dental Materials—The New Frontier. *Dent Clin North Am.* 2022;66(4):551–66. doi: 10.1016/j.cden.2022.05.005.

Meurman JH, Rytömaa I, Kari K, Laakso T, Murtomaa H. Salivary pH and Glucose after Consuming Various Beverages, Including Sugar-Containing Drinks. *Caries Res.* 1987;21(4):353–9. doi: 10.1159/000261039.

Michou S, Vannahme C, Ekstrand KR, Benetti AR. Detecting early erosive tooth wear using an intraoral scanner system. *J Dent.* 2020;100:103445. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103445.

Mikhail SS, Schricker SR, Azer SS, Brantley WA, Johnston WM. Optical characteristics of contemporary dental composite resin materials. *J Dent.* 2013;41(9):771–8. doi: 10.1016/j.jdent.2013.07.001.

Miletić I, Baraba A, Basso M, Pulcini MG, Marković D, Perić T, et al. Clinical Performance of a Glass-Hybrid System Compared with a Resin Composite in the Posterior Region: Results of a 2-year Multicenter Study. *J Adhes Dent.* 2020;22(3):235–47. doi: 10.3290/j.jad.a44547.

Mneimne M, Hill RG, Bushby AJ, Brauer DS. High phosphate content significantly increases apatite formation of fluoride-containing bioactive glasses. *Acta Biomater.* 2011;7(4):1827–34. doi: 10.1016/j.actbio.2010.11.037.

Moerbeek Filho P, Barreto M, Maia M, Vale D. Biological Principles of Nanostructured Hydroxyapatite Associated With Metals: A Literature Review. *Insights Biomed.* 2019;04(03). doi: 10.36648/2572-5610.4.3.64.

Moshaverinia M, de Almeida Queiroz Ferreira L, Smidt G, Shah KC, Ansari S, Moshaverinia A. Evaluation of mechanical, optical, and fluoride-releasing properties of a translucent bulk fill glass hybrid restorative dental material. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2024;36(3):503–10. doi: 10.1111/jerd.13168.

Mourouzis P, Tsiveli A, Tsetseli P, Gogos C, Tolidis K. Impact of erosion and aging simulation on chairside materials. *Microsc Res Tech.* 2023;86(8):943–54. doi: 10.1002/jemt.24361.

Mu Y, Du Z, Xiao L, Gao W, Crawford R, Xiao Y. The Localized Ionic Microenvironment in Bone Modelling/Remodelling: A Potential Guide for the Design of Biomaterials for Bone Tissue Engineering. *J Funct Biomater.* 2023;14(2):56. doi: 10.3390/jfb14020056.

Naeimi Akbar H, Moharamzadeh K, Wood DJ, Van Noort R. Relationship between Color and Translucency of Multishaded Dental Composite Resins. *Int J Dent.* 2012;2012:1–5. doi: 10.1155/2012/708032.

Nakatsuka T, Yasuda Y, Kimoto K, Mizuno M, Negoro N. Dental fillers. Kabushiki Kaisha Shofu assignee, United States patent US 6,620,861, 2003.

Nedeljkovic I, De Munck J, Slomka V, Van Meerbeek B, Teughels W, Van Landuyt KL. Lack of Buffering by Composites Promotes Shift to More Cariogenic Bacteria. *J Dent Res.* 2016;95(8):875–81. doi: 10.1177/0022034516647677.

Nozawa SR, Rigoli IC, Thedei G, Rossi A. Mind the buffering capacity of citric acid. *Fungal Genet Rep.* 1995;42(1):56. doi: 10.4148/1941-4765.1346.

Oglakci B, Kucukyildirim B, Özdoğan Z, Eliguzeloglu Dalkilic E. The Effect of Different Polishing Systems on the Surface Roughness of Nanocomposites: Contact Profilometry and SEM Analyses. *Oper Dent.* 2021;46(2):173–87. doi: 10.2341/20-157-L.

Oz FD, Meral E, Gurgan S. Clinical performance of an alkaline-based bioactive restorative in class II cavities: a randomized clinical trial. *Journal of Applied Oral Science.* 2023;31. doi: 10.1590/1678-7757-2023-0025.

Pameijer CH, Garcia-Godoy F, Morrow BR, Jefferies SR. Flexural strength and flexural fatigue properties of resin-modified glass ionomers. *J Clin Dent.* 2015;26(1):23–7.

Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color Difference Thresholds in Dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2015;27(S1). doi: 10.1111/jerd.12149.

Paravina RD, Roeder L, Lu H, Vogel K, Powers JM. Effect of finishing and polishing procedures on surface roughness, gloss and color of resin-based composites. *Am J Dent*. 2004;17(4):262–6.

Park G, Ko K, Huh Y, Park C, Cho L. Flexural strength and translucency of barium-silicate-filled resin nanoceramics for additive manufacturing. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2024;36(3):445–52. doi: 10.1111/jerd.13129.

Pecho OE, Ghinea R, Amaral EAN do, Cardona JC, Della Bona A, Pérez MM. Relevant optical properties for direct restorative materials. *Dental Materials*. 2016;32(5):e105–12. doi: 10.1016/j.dental.2016.02.008.

Pérez M del M, Saleh A, Yebra A, Pulgar R. Study of the Variation between CIELAB .DELTA.E* and CIEDE2000 Color-differences of Resin Composites. *Dent Mater J*. 2007;26(1):21–8. doi: 10.4012/dmj.26.21.

Pérez-Pariente J, Balas F, Román J, Salinas AJ, Vallet-Regí M. Influence of composition and surface characteristics on the in vitro bioactivity of SiO₂–CaO–P₂O₅–MgO sol-gel glasses. *J Biomed Mater Res*. 1999;47(2):170–5. doi: 10.1002/(SICI)1097-4636(199911)47:2<170::AID-JBM6>3.0.CO;2-J.

Priyadarshini B, Jayaprakash T, Nagesh B, Sunil C, Sujana V, Deepa V. One-year comparative evaluation of Ketac Nano with resin-modified glass ionomer cement and Giomer in noncarious cervical lesions: A randomized clinical trial. *Journal of Conservative Dentistry*. 2017;20(3):204. doi: 10.4103/0972-0707.218305.

Rios D, Honório HM, Francisconi LF, Magalhães AC, Machado MA de AM, Buzalaf MAR. In situ effect of an erosive challenge on different restorative materials and on enamel adjacent to these materials. *J Dent*. 2008;36(2):152–7. doi: 10.1016/j.jdent.2007.11.013.

Rizwan M, Hamdi M, Basirun WJ. Bioglass® 45S5-based composites for bone tissue engineering and functional applications. *J Biomed Mater Res A*. 2017;105(11):3197–223. doi: 10.1002/jbm.a.36156.

Da Rosa Rodolpho PA, Rodolfo B, Collares K, Correa MB, Demarco FF, Opdam NJM, et al. Clinical performance of posterior resin composite restorations after up to 33 years. *Dental Materials*. 2022;38(4):680–8. doi: 10.1016/j.dental.2022.02.009.

Roźniatowski P, Korporowicz E, Gozdowski D, Olczak-Kowalczyk D. Clinical study on resin composite and glass ionomer materials in II class restorations in permanent teeth. *J Clin Exp Dent*. 2021;e165–71. doi: 10.4317/jced.57572.

Rutkunas V, Sabaliauskas V, Mizutani H. Effects of different food colorants and polishing techniques on color stability of provisional prosthetic materials. *Dent Mater J*. 2010;29(2):167–76. doi: 10.4012/dmj.2009-075.

Saadaldin SA, Dixon SJ, Costa DO, Rizkalla AS. Synthesis of bioactive and machinable miserite glass-ceramics for dental implant applications. *Dental Materials*. 2013;29(6):645–55. doi: 10.1016/j.dental.2013.03.013.

Saber EH, Abielhassan MH, Abed YA, Fahim SE. Color Stability of Bioactive Restorative Material vs Nanohybrid Resin Composite: An In Vitro Study. *J Contemp Dent Pract*. 2024;25(3):221–5. doi: 10.5005/jp-journals-10024-3654.

Sajini S, Mushayt A, Almutairi T, Abuljadayel R. Color stability of bioactive restorative materials after immersion in various media. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2022;12(4):418. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD_40_22.

Sakae LO, Renzo ALM, Viana ÍEL, Niemeyer SH, Carvalho TS, Scaramucci T. Impact of different brushing/abrasion protocols on erosive tooth wear for in vitro studies. *Arch Oral Biol*. 2023;148:105657. doi: 10.1016/j.archoralbio.2023.105657.

Salas M, Lucena C, Herrera LJ, Yebra A, Della Bona A, Pérez MM. Translucency thresholds for dental materials. *Dental Materials*. 2018;34(8):1168–74. doi: 10.1016/j.dental.2018.05.001.

Salas MMS, Nascimento GG, Huysmans MC, Demarco FF. Estimated prevalence of erosive tooth wear in permanent teeth of children and adolescents: An epidemiological systematic review and meta-regression analysis. *J Dent*. 2015;43(1):42–50. doi: 10.1016/j.jdent.2014.10.012.

Samuel SM, Rubinstein C. Microhardness of enamel restored with fluoride and non-fluoride releasing dental materials. *Braz Dent J*. 2001;12(1):35–8.

Santos C, Clarke RL, Braden M, Guitian F, Davy KW. Water absorption characteristics of dental composites incorporating hydroxyapatite filler. *Biomaterials*. 2002;23(8):1897–904. doi: 10.1016/s0142-9612(01)00331-3.

Saxer UP, Barbakow J, Yankell SL. New studies on estimated and actual toothbrushing times and dentifrice use. *J Clin Dent*. 1998;9(2):49–51.

Scaramucci T, João-Souza SH, Lippert F, Eckert GJ, Aoki I V., Hara AT. Influence of Toothbrushing on the Antierosive Effect of Film-Forming Agents. *Caries Res*. 2016;50(2):104–10. doi: 10.1159/000443619.

Schlueter N, Luka B. Erosive tooth wear – a review on global prevalence and on its prevalence in risk groups. *Br Dent J*. 2018;224(5):364–70. doi: 10.1038/sj.bdj.2018.167.

Schmalz G, Hickel R, Price RB, Platt JA. Bioactivity of Dental Restorative Materials: FDI Policy Statement. *Int Dent J*. 2023;73(1):21–7. doi: 10.1016/j.identj.2022.11.012.

Scholtanus JD, Huysmans M-CDNJM. Clinical failure of class-II restorations of a highly viscous glass-ionomer material over a 6-year period: A retrospective study. *J Dent*. 2007;35(2):156–62. doi: 10.1016/j.jdent.2006.07.006.

Schuhladen K, Wang X, Hupa L, Boccaccini AR. Dissolution of borate and borosilicate bioactive glasses and the influence of ion (Zn, Cu) doping in different solutions. *J Non Cryst Solids*. 2018;502:22–34. doi: 10.1016/j.jnoncrsol.2018.08.037.

Scott R. NovaMin Technology. *J Clin Dent*. 2010;21(3):59–60.

Shahid S, Hassan U, Billington RW, Hill RG, Anderson P. Glass ionomer cements: Effect of strontium substitution on esthetics, radiopacity and fluoride release. *Dental Materials*. 2014;30(3):308–13. doi: 10.1016/j.dental.2013.12.003.

Sharma G, Wu W, Dalal EN. The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Res Appl*. 2005;30(1):21–30. doi: 10.1002/col.20070.

Shellis RP, Addy M. The Interactions between Attrition, Abrasion and Erosion in Tooth Wear. 2014. p. 32–45. doi: 10.1159/000359936.

Shellis RP, Featherstone JDB, Lussi A. Understanding the Chemistry of Dental Erosion. 2014. p. 163–79. doi: 10.1159/000359943.

Shen C, Rawls H, Esquivel-upshaw J. *Phillips Materiais Dentários*. 13^a ed. Grupo GEN; 2023.

Shih S-J, Chou Y-J, Chien I-C. One-step synthesis of bioactive glass by spray pyrolysis. *Journal of Nanoparticle Research*. 2012;14(12):1299. doi: 10.1007/s11051-012-1299-1.

Shih S-J, Lin Y-C, Valentino Posma Panjaitan L, Rahayu Meyla Sari D. The Correlation of Surfactant Concentrations on the Properties of Mesoporous Bioactive Glass. *Materials*. 2016;9(1):58. doi: 10.3390/ma9010058.

Shimazu K, Ogata K, Karibe H. Evaluation of the ion-releasing and recharging abilities of a resin-based fissure sealant containing S-PRG filler. *Dent Mater J*. 2011;30(6):923–7. doi: 10.4012/dmj.2011-124.

Skallevoid HE, Rokaya D, Khurshid Z, Zafar MS. Bioactive Glass Applications in Dentistry. *Int J Mol Sci*. 2019;20(23):5960. doi: 10.3390/ijms20235960.

Sonarkar S, Purba R. Bioactive materials in conservative dentistry. *International Journal of Contemporary Dental and Medical Reviews*. 2015;2015:1–4.

Souza C de MS, Sakae LO, Carneiro PMA, Esteves RA, Scaramucci T. Interplay between different manual toothbrushes and brushing loads on erosive tooth wear. *J Dent*. 2021;105:103577. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103577.

Spagnuolo G. Bioactive Dental Materials: The Current Status. *Materials*. 2022;15(6):2016. doi: 10.3390/ma15062016.

Sulaiman TA, Rodgers B, Suliman AA, Johnston WM. Color and translucency stability of contemporary resin-based restorative materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2021;33(6):899–905. doi: 10.1111/jerd.12640.

Suzuki S, Leinfelder KF, Kawai K, Tsuchitani Y. Effect of particle variation on wear rates of posterior composites. *Am J Dent*. 1995;8(4):173–8.

Tan BL, Yap AUJ, Ma HNT, Chew J, Tan WJ. Effect of beverages on color and translucency of new tooth-colored restoratives. *Oper Dent*. 2015;40(2):E56-65. doi: 10.2341/149027-L.

Tarle Z, Par M. Bioactive dental composite materials. *Rad Hrvatske Akademije Znanosti i Umjetnosti Medicinske Znanosti*. 2018;533(43):83–100. doi: 10.21857/mnlqgc02ky.

Thomas NM, Safeera TAB, Vanchipurackal IV, Anila EI. Concentration-dependent luminescence characterization of terbium-doped strontium aluminate nanophosphors. *Luminescence*. 2024;39(7). doi: 10.1002/bio.4820.

Tiskaya M, Al-eesa NA, Wong FSL, Hill RG. Characterization of the bioactivity of two commercial composites. *Dental Materials*. 2019;35(12):1757–68. doi: 10.1016/j.dental.2019.10.004.

Tohidkhah S, Kermanshah H, Ahmadi E, Jalalian B, Ranjbar Omrani L. Marginal microleakage and modified microtensile bond strength of Activa Bioactive, in comparison with conventional restorative materials. *Clin Exp Dent Res*. 2022;8(1):329–35. doi: 10.1002/cre2.534.

Toledano M, Osorio R, Osorio E, Cabello I, Toledano-Osorio M, Aguilera FS. In vitro mechanical stimulation facilitates stress dissipation and sealing ability at the conventional glass ionomer cement-dentin interface. *J Dent*. 2018;73:61–9. doi: 10.1016/j.jdent.2018.04.006.

Torres CRG, Bonício GC, Crastechini É, Mailart MC, Borges AB. Effect of whitening mouthrinses on enamel toothbrush abrasion. *Am J Dent*. 2018;31(6):285–9.

Turssi C, Ferracane J, Vogel K. Filler features and their effects on wear and degree of conversion of particulate dental resin composites. *Biomaterials*. 2005;26(24):4932–7. doi: 10.1016/j.biomaterials.2005.01.026.

Vallittu PK, Boccaccini AR, Hupa L, Watts DC. Bioactive dental materials—Do they exist and what does bioactivity mean? *Dental Materials*. 2018a;34(5):693–4. doi: 10.1016/j.dental.2018.03.001.

Vallittu PK, Boccaccini AR, Hupa L, Watts DC. Bioactive dental materials—Do they exist and what does bioactivity mean? *Dental Materials*. 2018b;34(5):693–4. doi: 10.1016/j.dental.2018.03.001.

- Viana Í, Alania Y, Feitosa S, Borges A, Braga R, Scaramucci T. Bioactive Materials Subjected to Erosion/Abrasion and Their Influence on Dental Tissues. *Oper Dent*. 2020;45(3):E114–23. doi: 10.2341/19-102-L.
- Vollenweider M, Brunner TJ, Knecht S, Grass RN, Zehnder M, Imfeld T, et al. Remineralization of human dentin using ultrafine bioactive glass particles. *Acta Biomater*. 2007;3(6):936–43. doi: 10.1016/j.actbio.2007.04.003.
- Volpato CAM, Pereira MRC, Silva FS. Fluorescence of natural teeth and restorative materials, methods for analysis and quantification: A literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2018;30(5):397–407. doi: 10.1111/jerd.12421.
- Wallace M, Abiama N, Chipembere M. Measurement of the pKa Values of Organic Molecules in Aqueous–Organic Solvent Mixtures by ^1H NMR without External Calibrants. *Anal Chem*. 2023;95(42):15628–35. doi: 10.1021/acs.analchem.3c02771.
- Wan Bakar W, McIntyre J. Susceptibility of selected tooth-coloured dental materials to damage by common erosive acids. *Aust Dent J*. 2008;53(3):226–34. doi: 10.1111/j.1834-7819.2008.00053.x.
- Wang L, Borges A, Brianezzi L, Mosquim V, Basting R, Agulhari M. *Materiais bioativos em odontologia: ciência e prática evolucionárias*. Nova Odessa: Napoleão; 2021.
- Wang Y, Wang X, Xu Y, Chen T, Liu M, Niu F, et al. Simultaneous Synthesis of WO_3-x Quantum Dots and Bundle-Like Nanowires Using a One-Pot Template-Free Solvothermal Strategy and Their Versatile Applications. *Small*. 2017;13(13). doi: 10.1002/smll.201603689.
- Watson TF, Atmeh AR, Sajini S, Cook RJ, Festy F. Present and future of glass-ionomers and calcium-silicate cements as bioactive materials in dentistry: Biophotonics-based interfacial analyses in health and disease. *Dental Materials*. 2014;30(1):50–61. doi: 10.1016/j.dental.2013.08.202.
- Wiegand A, Attin T. Design of Erosion/Abrasion Studies – Insights and Rational Concepts. *Caries Res*. 2011;45(Suppl. 1):53–9. doi: 10.1159/000325946.
- Wiegand A, Köwing L, Attin T. Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol*. 2007;52(11):1043–7. doi: 10.1016/j.archoralbio.2007.06.004.
- Willers AE, Branco TB, Sahadi BO, Faraoni JJ, Dibb RGP, Giannini M. Effect of erosive challenge with HCl on restorative materials. *Clin Oral Investig*. 2022;26(8):5189–203. doi: 10.1007/s00784-022-04487-w.
- Wilson AD, Kent BE. The glass-ionomer cement, a new translucent dental filling material. *Journal of Applied Chemistry and Biotechnology*. 1971;21(11):313–313. doi: 10.1002/jctb.5020211101.

- Xu HHK, Weir MD, Sun L, Moreau JL, Takagi S, Chow LC, et al. Strong Nanocomposites with Ca, PO₄, and F Release for Caries Inhibition. *J Dent Res*. 2010;89(1):19–28. doi: 10.1177/0022034509351969.
- Yassen GH, Platt JA, Hara AT. Bovine teeth as substitute for human teeth in dental research: a review of literature. *J Oral Sci*. 2011;53(3):273–82. doi: 10.2334/josnusd.53.273.
- Yazkan B, Celik E, Recen D. Effect of Aging on Surface Roughness and Color Stability of a Novel Alkaside in Comparison with Current Direct Restorative Materials. *Oper Dent*. 2021;46(5):E240–50. doi: 10.2341/20-195-L.
- Yu H, Li Q, Hussain M, Wang Y. Effects of bleaching gels on the surface microhardness of tooth-colored restorative materials in situ. *J Dent*. 2008;36(4):261–7. doi: 10.1016/j.jdent.2008.01.008.
- Yu H, Wegehaupt FJ, Wiegand A, Roos M, Attin T, Buchalla W. Erosion and abrasion of tooth-colored restorative materials and human enamel. *J Dent*. 2009;37(12):913–22. doi: 10.1016/j.jdent.2009.07.006.
- Zafar MS, Amin F, Fareed MA, Ghabbani H, Riaz S, Khurshid Z, et al. Biomimetic Aspects of Restorative Dentistry Biomaterials. *Biomimetics*. 2020;5(3):34. doi: 10.3390/biomimetics5030034.
- Zero DT, Creeth JE, Bosma ML, Butler A, Guibert RG, Karwal R, et al. The Effect of Brushing Time and Dentifrice Quantity on Fluoride Delivery in vivo and Enamel Surface Microhardness in situ. *Caries Res*. 2010;44(2):90–100. doi: 10.1159/000284399.
- Zhang K, Zhang N, Weir MD, Reynolds MA, Bai Y, Xu HHK. Bioactive Dental Composites and Bonding Agents Having Remineralizing and Antibacterial Characteristics. *Dent Clin North Am*. 2017;61(4):669–87. doi: 10.1016/j.cden.2017.05.002.
- Zheng K, Boccaccini AR. Sol-gel processing of bioactive glass nanoparticles: A review. *Adv Colloid Interface Sci*. 2017;249:363–73. doi: 10.1016/j.cis.2017.03.008.