

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

**EFEITO DE DENTIFRÍCIOS COM SÍLICA BIOATIVA
NO ESMALTE BOVINO ERODIDO:
ESTUDO *IN VITRO***

Elizabeth Barreto Galvão de Sousa

SAPIENTIA AEDIFICAT

2024

ELIZABETH BARRETO GALVÃO DE SOUSA

**EFEITO DE DENTIFRÍCIOS COM SÍLICA BIOATIVA NO ESMALTE
BOVINO ERODIDO: ESTUDO *IN VITRO***

**EFFECT OF TOOTHPASTES WITH BIOACTIVE SILICA ON
ERODED BOVINE ENAMEL: AN *IN VITRO* STUDY**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Odontologia, da
Universidade Federal da Paraíba, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Odontologia – Área
de Concentração Ciências Odontológicas

Orientador: Prof^a. Dr^a. Andressa Feitosa Bezerra de Oliveira

João Pessoa

2024

S725e Sousa, Elizabeth Barreto Galvao de.

Efeito de dentifrícios com sílica bioativa no
esmalte bovino erodido : estudo in vitro / Elizabeth
Barreto Galvao de Sousa. - João Pessoa, 2024.

61 f. : il.

Orientação: Andressa Feitosa Bezerra de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCS.

1. Erosão dental. 2. Esmalte dental. 3.
Dentifrícios. 4. Sílica. 5. Silicatos. I. Oliveira,
Andressa Feitosa Bezerra de. II. Título.

UFPB/BC

CDU 616.314-001.4(043)

Informações Complementares:

Título em outro idioma: Effect of toothpastes with biactive silica on eroded bovine enamel: an *in vitro* study

Palavras-chave em outro idioma: Silicon. Silicates. Toothpastes. Tooth erosion. Dental enamel.

Área de concentração: Ciências Odontológicas

Linha de Pesquisa: Biomateriais em Odontologia

Banca examinadora: Andressa Feitosa Bezerra de Oliveira (Orientador, Universidade Federal da Paraíba- UFPB); Fábio Correia Sampaio (Universidade Federal da Paraíba -UFPB); Rodrigo Barros Esteves Lins (Universidade Federal de Alagoas - UFAL)

Data da defesa: 11/12/2024

Informações acadêmicas e profissionais da aluna

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9053-9848>

- Link do Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1813463141218513>



**ATA DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
2024**

Aos onze dias do mês de dezembro do ano de 2024, às 09:00 horas, no auditório NepBio, reuniram-se os membros da banca examinadora composta pelas professores doutores: ANDRESSA FEITOSA BEZERRA DE OLIVEIRA (Orientador(a) e Presidente), FABIO CORREIA SAMPAIO (membro interno ao Programa de Pós-graduação em Odontologia – UFPB) e RODRIGO BARROS ESTEVES LINS (membro externo ao Programa de Pós-graduação em Odontologia – UFPB) a fim de argüirem o(a) mestrando(a) ELIZABETH BARRETO GALVÃO DE SOUSA, com relação ao seu trabalho final de curso de mestrado (dissertação), sob o título “POTENCIAL REMINERALIZADOR DE DENTIFRÍCIOS COM TECNOLOGIA REFIX ® NO ESMALTE ERODIDO: UM ESTUDO IN VITRO”. Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube o(a) candidato(a), na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar. Em seguida, foi questionado pelos membros da banca examinadora, sendo as explicações necessárias fornecidas e as modificações solicitadas registradas. Logo após, os membros da banca examinadora reuniram-se em sessão secreta, tendo chegado ao seguinte julgamento, que, de público, foi anunciado: 1º Examinador (membro externo): Conceito “Aprovado”; 2º Examinador (membro interno): Conceito “Aprovado, 3º Examinador (Orientador e presidente): Conceito “Aprovado”. O que resultou em conceito final igual: “APROVADO”, o que permite o(a) candidato(a) fazer jus ao título de Mestre em Odontologia. Os documentos utilizados para avaliação da candidata durante o processo aqui descrito apresentam-se como prova documental do mesmo e, como tal, serão anexadas a esta ata para arquivamento. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que será assinada pelo presidente, pelos demais membros da banca e pelo(a) candidato (a).

1º Examinador – Membro Externo

2º Examinador – Membro interno

3º Examinador – Presidente

Candidato (a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA



ATA DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
(DOCUMENTO ANEXO – 1)

A Comissão Examinadora do Trabalho Final (dissertação) de Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal da Paraíba, em sessão pública, após apreciação da apresentação oral e arguição do trabalho:

CANDIDATO: ELIZABETH BARRETO GALVÃO DE SOUSA
ORIENTADOR: Prof. Dr. ANDRESSA FEITOSA BEZERRA DE OLIVEIRA

BANCA EXAMINADORA:

1º Examinador: Prof. Dr. RODRIGO BARROS ESTEVES LINS (Membro Externo)
2º Examinador: Prof. Dr. FABIO CORREIA SAMPAIO (Membro Interno)
3º Examinador: Prof. Dr. ANDRESSA FEITOSA BEZERRA DE OLIVEIRA (orientador e presidente)

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "POTENCIAL REMINERALIZADOR DE DENTIFRÍCIOS COM TECNOLOGIA REFIX® NO ESMALTE ERODIDO: UM ESTUDO IN VITRO.

Houve sugestão de alteração do título do trabalho final? (X) Sim () Não

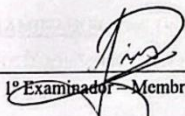
Se sim, qual o novo título sugerido?

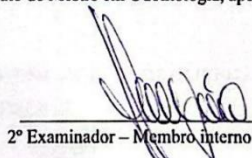
Dentifrícios com Seliva Bioativa no esmalte
erodido: estudo in vitro

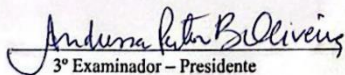
no dia 11 de dezembro de 2024, e observando o que determina a Resolução do Colegiado do Programa de Pós-graduação em Odontologia atribuem o conceito final:

() Aprovado () Insuficiente () Reprovado

ao candidato o que lhe permitirá fazer jus ao título de Mestre em Odontologia, após a tramitação pertinente.


1º Examinador – Membro Externo


2º Examinador – Membro Interno


3º Examinador – Presidente

Universidade Federal da Paraíba – Centro de Ciências da Saúde
Programa de Pós-graduação em Odontologia – Campus I – Cidade Universitária
João Pessoa – PB CEP – 58051-900 Fone: (83) 3216-7797
www.ufpb.br/pos/odontologia



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA



ATA DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
(DOCUMENTO ANEXO – 2)

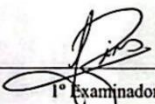
João Pessoa, 11 de dezembro de 2024.

CANDIDATO: ELIZABETH BARRETO GALVÃO DE SOUSA

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "POTENCIAL REMINERALIZADOR DE DENTIFRÍCIOS COM TECNOLOGIA
REFIX ® NO ESMALTE ERODIDO: UM ESTUDO IN VITRO"

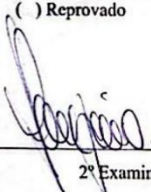
1º EXAMINADOR: Prof. Dr. RODRIGO BARROS ESTEVES LINS

Parecer: ☒ Aprovado () Insuficiente () Reprovado


1º Examinador

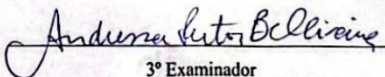
2º EXAMINADOR: Prof. Dr. FABIO CORREIA SAMPAIO

Parecer: ☒ Aprovado () Insuficiente () Reprovado


2º Examinador

3º EXAMINADOR: Prof. Dr. ANDRESSA FEITOSA BEZERRA DE OLIVEIRA

Parecer: ☒ Aprovado () Insuficiente () Reprovado


3º Examinador

Universidade Federal da Paraíba – Centro de Ciências da Saúde
Programa de Pós-graduação em Odontologia – Campus I – Cidade Universitária
João Pessoa – PB CEP – 58051-900 Fone: (83) 3216-7797
www.ufpb.br/pos/odontologia

“É justo que muito custe o que muito vale”

(Santa Teresa D´Ávila)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e à Mãe da Promessa, pelo dom da vida, por sempre me lembrarem que sou uma filha amada, terem sido meu sustento em todos os momentos e por terem colocado no meu coração o desejo de exercer a docência e pesquisa em Odontologia.

Ao meu esposo, por todo companheirismo e abdicação para que eu pudesse mergulhar com toda intensidade nesse sonho. Por todo auxílio para que essa conquista fosse possível.

Aos meus pais, irmãos e familiares por depositarem todos os seus esforços, diariamente, por toda renúncia, amor incondicional e incentivo.

Ao grupo de pesquisa que sempre colaborou de forma ativa para que pudesse realizar os ensaios e análises em tempo hábil, por toda parceria e apoio prestados durante todos esses anos. Em especial ao meu amigo Anderson Forte, que sempre se disponibilizou para me auxiliar e me ensinou muitos processos com extrema solicitude, tenho certeza que seu caminho será de muito sucesso por toda dedicação que emprega no que se dispõe a fazer. Fazer pesquisa com um grupo tão maravilhoso quanto o nosso torna a rotina da pós-graduação mais leve.

Às minhas amigas e colegas de profissão Danielle, Heloísa e Karollyne por todo apoio e amizade durante todo processo de pós-graduação. A todos os amigos que, de alguma forma, contribuíram para que eu finalizasse esse ciclo. Cada um de vocês é parte dessa conquista.

À minha orientadora, Professora Andressa Feitosa, por todos seus ensinamentos, por ser uma inspiração nos mais diversos aspectos e diferencial na minha vida acadêmica e pessoal, por todo incentivo, zelo, dedicação e oportunidades oferecidas, por tornar possível o meu encanto pelo mundo da pesquisa e me fazer sonhar mais alto, mesmo quando nem eu acredito. Por ser muito mais que uma orientadora, e representar um exemplo de mãe, esposa, filha e amiga. Obrigada por me tomar pela mão e corrigir sempre que necessário.

À banca que se disponibilizou com presteza a realizar contribuições valiosas para aperfeiçoamento do trabalho nas pessoas dos professores: André Ulisses, Andreza

Targino, Fábio Sampaio e Rodrigo Lins. Não poderia ter contado com professores mais competentes e zelosos para enriquecer esta pesquisa.

Agradeço a todos os funcionários do Laboratório de Técnicas Morfológicas do Departamento de Morfologia Laboratório de Biologia Bucal, por toda disponibilidade e solicitude para que a execução deste trabalho fosse possível.

À CAPES, ao PPGO-UFPB e à Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio institucional recebido.

RESUMO

Introdução: A erosão dentária é uma doença crônica não bacteriana causada pelo contato contínuo com substâncias ácidas, levando à perda progressiva da estrutura dentária. Com crescente prevalência e impacto negativo na estética e função, seu agravamento pode ocorrer com abrasão e atrição. A tecnologia REFIX[®], contendo tetrassódio-pirofosfato e sílica, surge como opção terapêutica promissora, promovendo remineralização e reduzindo a solubilidade dentária. Assim, a adição de compostos ao flúor ou sua substituição por alternativas em dentifrícios demonstra potencial na remineralização de lesões de erosão dentária. **Objetivos:** Avaliar o impacto de dentifrícios com tecnologia REFIX[®], com diferentes concentrações de fluoreto, na microdureza superficial e no ganho mineral de superfícies de esmalte erodidas. **Materiais e métodos:** Sessenta blocos de esmalte foram distribuídos aleatoriamente em cinco grupos (n=12/grupo): RGS1 (dentifrício REFIX[®] com 1450 ppm de flúor), RGS2 (dentifrício REFIX[®] com 1100 ppm de flúor), RGS3 (dentifrício REFIX[®] sem flúor), controle negativo - CN (dentifrício sem flúor e sem REFIX[®]) e controle positivo - CP (dentifrício com 1100 ppm de flúor, sem REFIX[®]). Os blocos de esmalte foram divididos em três partes: hígido (não tratado), erodido (lesão desmineralizada) e tratado (lesão erosiva submetida à ciclagem de pH com dentifrícios). As amostras foram submetidas a um modelo de ciclagem de pH por 5 dias. O desafio erosivo foi realizado 4 vezes ao dia (90s), e após o primeiro e último ciclos, as amostras foram tratadas com suspensões de dentifrícios (1:3) por 2 minutos, em máquina de escovação padronizada. A microdureza superficial foi medida nas áreas hígida (SH0), erodida (SH1) e tratada com dentifrício (SH2), e o percentual de alteração na microdureza superficial (%SMHC) foi calculado. Após o tratamento, o ganho mineral foi medido pela Fluorescência Quantitativa Induzida por Luz (QLF) entre $\Delta F0$ (área saudável-erodida) e $\Delta F1$ (área saudável-tratada). O ganho de fluorescência mineral (ΔFg) foi calculado usando a diferença entre $\Delta F1$ e $\Delta F0$. Os dados foram analisados estatisticamente por ANOVA, seguido do teste de Tukey ($p < 0,05$). **Resultados:** Todos os dentifrícios tiveram um impacto significativo nas superfícies de esmalte. Os dentifrícios com tecnologia REFIX[®] foram mais eficazes no aumento da dureza superficial do esmalte e no ganho mineral após o tratamento ($p < 0,05$). O ranking de %SMHC foi: RGS2 > RGS1 > RGS3 = CP > CN. O ranking de ganho de

fluorescência (ΔF_{dif}) foi: $RGS2 = RGS1 = RGS3 > CP > CN$. O grupo CN mostrou perda de dureza superficial e de fluorescência mineral após o tratamento, demonstrando nenhuma eficácia no ganho mineral ou no aumento de dureza da superfície. O CN foi o grupo que obteve maior rugosidade superficial após o tratamento. Os demais grupos (RGS e CP) obtiveram maior lisura superficial após uso ($p < 0,05$). O grupo CN também apresentou maior perda de superfície dentária em comparação aos demais ($p < 0,05$). Os dentifrícios RGS1, RGS2, RGS3 e CP apresentaram valores semelhantes entre si ($p < 0,05$). **Conclusão:** Os dentifrícios com tecnologia REFIX[®] demonstraram maior atividade na melhoria da dureza superficial e no ganho mineral após o tratamento do esmalte erodido.

Palavras-chave: Sílica; Silicatos; Dentifrícios; Erosão dental; Esmalte dental.

ABSTRACT

Introduction: Dental erosion is a chronic non-bacterial disease caused by continuous contact with acidic substances, leading to the progressive loss of dental structure. With increasing prevalence and a negative impact on aesthetics and function, its worsening can occur with abrasion and attrition. The REFIX[®] technology, containing tetrasodium pyrophosphate and silica, emerges as a promising therapeutic alternative, promoting remineralization and reducing dental solubility. Thus, the addition of compounds to fluoride or its replacement with alternatives in dentifrices shows potential for the remineralization of dental erosion lesions. **Objectives:** To evaluate the impact of REFIX[®] technology toothpastes with or without different concentrations of fluoride on the surface hardness and mineral gain of eroded enamel surfaces. **Materials and methods:** Sixty Enamel blocks were randomly distributed into five groups (n=12/group): RGS1 (REFIX[®]-toothpaste with 1450 ppm F), RGS2 (REFIX[®]-toothpaste with 1100 ppm F), RGS3 (fluoride-free REFIX[®]-toothpaste), negative control-NC (fluoride-free toothpaste), and positive control-PC (1100 ppm F toothpaste). The enamel blocks were divided into three thirds: intact (untreated), eroded (demineralized lesion), and treated (erosion lesion, pH cycling with dentifrices). The specimens were submitted to an erosive pH cycling model for 5 days. The erosive challenge was performed 4 times/day (90s), and after the first and last cycles, the specimens were treated with toothpaste slurries (1:3) for 2 minutes. Surface microhardness was measured in sound (SH0), eroded (SH1), and treated (SH2) areas, and the percentage of surface microhardness change (%SMHC) was calculated. Following treatment, fluorescence loss was measured by Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF) between $\Delta F1$ (sound-eroded area) and $\Delta F2$ (sound-treated area). The mineral fluorescence gain (ΔFg) was calculated using the difference between $\Delta F2$ and $\Delta F1$. Data were statistically analyzed by ANOVA followed by Tukey's test ($p < 0.05$). **Results:** All dentifrices had a significant impact on enamel surfaces. REFIX[®] technology toothpastes were more effective in enamel rehardening and mineral gain after treatment ($p < 0.05$). The %SMHC ranking was as follows: RGS2 > RGS1 > RGS3 = PC > NC. The fluorescence gain ($\Delta Fdif$) ranking was: RGS2 = RGS1 = RGS3 > PC > NC. The NC group showed a loss of surface hardness and mineral fluorescence after treatment, demonstrating no efficacy in mineral gain or surface

rehardening. The CN group had the highest surface roughness after treatment. The other groups (RGS and CP) had the highest surface smoothness after use ($p < 0.05$). The CN group also had the highest tooth surface loss compared to the others ($p < 0.05$). The RGS1, RGS2, RGS3 and CP toothpastes had similar values ($p < 0.05$).
Conclusions: REFIX[®] technology toothpastes showed greater efficacy in improving surface hardness and mineral gain in the treatment of eroded enamel.

Keywords: Silicon; Silicates; Toothpastes; Tooth erosion; Dental enamel.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HA: Hidroxiapatita

RGS: Regenerador dental sensitivo

CN: Controle negativo

CP: Controle positivo

OH^- : Hidroxila

F^- : Fluoreto

Cl^- : Cloreto

PO_4^{3-} : Fosfato

CO_3^{2-} : Carbonato

SiO_4^{4-} : Silicato

QLF: Quantitative light-induced fluorescence

SH: Dureza superficial (*Surface hardness*)

HV: Hardness Vickers (Dureza Vickers)

%SMHC: Percentual do ganho de microdureza superficial

Ra: Rugosidade superficial

ΔSL : Perda de superfície

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1 Esmalte dentário.....	3
2.2 Erosão dentária e desgaste erosivo	4
2.3 Dentifrícios fluoretados.....	6
2.4 Novas tecnologias bioativas em dentifrícios	8
2.5 Análise das propriedades do esmalte dentário.....	10
2.5.1 QUANTIFICAÇÃO DA FLUORESCÊNCIA INDUZIDA POR LUZ – QLF.....	10
2.5.2 MICRODUREZA SUPERFICIAL.....	11
2.5.3 MORFOLOGIA SUPERFICIAL DO ESMALTE.....	12
3. OBJETIVOS.....	14
4. Artigo 1.....	16
5. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

A erosão dentária é um problema significativo de saúde bucal, impulsionado por mudanças nos hábitos alimentares, como o consumo crescente de alimentos e bebidas ácidas, além do aumento da exposição a fatores como refluxo gastroesofágico e xerostomia (CARVALHO; LUSSI, 2019). Esses fatores têm atraído crescente interesse da comunidade científica. Estima-se que a erosão dentária afeta entre 20% e 45% da dentição permanente e de 30% a 58% da dentição decídua, impactando consideravelmente a estética e a função mastigatória, reforçando a necessidade de estratégias preventivas e terapêuticas mais eficazes (CARVALHO; LUSSI, 2019; LUSSI *et al.*, 2019; SCHLUETER *et al.*, 2018; PAREEK; SOOD; AGGARWAL, 2021).

Caracterizada pela perda progressiva de minerais na superfície dental, sem envolvimento bacteriano, a erosão dentária resulta de uma interação multifatorial envolvendo fatores químicos, biológicos e comportamentais (CHAN *et al.*, 2020; COLOMBO *et al.*, 2019; BUZALAF *et al.*, 2021; O'TOOLE *et al.*, 2017). Esses fatores podem ser extrínsecos, como a ingestão frequente de alimentos e bebidas ácidas, o uso de medicamentos ácidos e a exposição a ambientes com alto teor de ácidos (MOAZZEZ e AUSTIN, 2018; METHUEN *et al.*, 2022; SATO *et al.*, 2021; AINOOSAH *et al.*, 2020), ou intrínsecos, relacionados a distúrbios alimentares e gastroesofágicos, que expõem o esmalte aos ácidos gástricos de forma constante (HELLE *et al.*, 2023; OUDKERK *et al.*, 2023; CHATZIDIMITRIOU *et al.*, 2023).

A literatura atual afirma que o desgaste decorrente da erosão dentária não se deve apenas ao contato com substâncias ácidas (fator primário), mas também a fatores mecânicos, como abrasão e atrição (fatores secundários), que intensificam o desgaste (SOUZA *et al.*, 2021. SCHLUETER *et al.*, 2019; ZERO *et al.*, 2020; CARVALHO *et al.* 2021). Esses processos caracterizam-se como "desgaste dentário erosivo" e, quando não diagnosticados e tratados precocemente, podem levar a danos substanciais à saúde, estética e função dentária, culminando com a perda de elementos dentais (SCHLUETER *et al.*, 2019; DONOVAN *et al.*, 2021; NÉ *et al.*, 2022; SOUZA *et al.*, 2020; AINOOSAH *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, a indústria de produtos de higiene bucal tem se empenhado em desenvolver formulações que potencializam a ação terapêutica dos dentifrícios, alinhando-se aos princípios da Odontologia minimamente invasiva e preventiva (KÖRNER *et al.*, 2020; OLIVAN *et al.*, 2020; ASSUNÇÃO *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2020; LOPES *et al.*, 2021; BARTLETT, 2019; KÖRNER *et al.*, 2021; NOLASCO *et al.*, 2023; CHALKIDIS *et al.*, 2023). Dentre as tecnologias inovadoras, destacam-se os agentes bioativos, como o silício, que promovem respostas biológicas favoráveis ao interagir com os tecidos dentários (VILHENA *et al.*, 2020). Esses agentes favorecem a deposição de cálcio e fosfato, formando uma camada mineralizada que aumenta a resistência do esmalte (FERNANDES *et al.*, 2021).

Embora a remineralização mediada por fluoreto seja amplamente documentada, os mecanismos proporcionados pelo silício ainda carecem de investigações mais aprofundadas. Dentifrícios bioativos à base de silício têm demonstrado potencial na formação de camadas mineralizadas sobre o esmalte e na redução da sensibilidade dentinária, contribuindo para a prevenção do desgaste erosivo (FERNANDES *et al.*, 2022; SAMPAIO *et al.*, 2024). Essas formulações são especialmente promissoras por formarem camadas enriquecidas de silício e fluoreto, conhecidas como "enamel-like," que aumentam a resistência à desmineralização e promovem remineralização profunda, mesmo após exposição a desafios ácidos subsequentes (YU *et al.*, 2017; COLOMBO *et al.*, 2019; VIEIRA, 2005).

Diante desse contexto, o presente estudo busca avaliar a atuação de dentifrícios contendo bioativo sílica, com e sem fluoreto, em lesões de erosão dentária. Considerando a alta prevalência da erosão dentária e seus impactos na qualidade de vida, a investigação de alternativas inovadoras é crucial para mitigar sua progressão e promover a saúde bucal a longo prazo. A hipótese nula propõe que a adição de compostos bioativos ao fluoreto ou sua substituição por alternativas inovadoras não resulta em diferenças estatisticamente significativas na reparação ou proteção do esmalte bovino erodido.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Esmalte dentário

O esmalte dentário é caracterizado como o tecido mais rígido e mineralizado do corpo humano, desempenhando importante função de proteção da estrutura dentária contra injúrias químicas, mecânicas e biológicas, inerentes à função mastigatória e contato com o meio bucal (LA CRUZ *et al.*, 2017; INCHINGOLO *et al.*, 2023; NEEL *et al.*, 2016).

Está presente na porção coronária dos dentes, sendo composto aproximadamente por 96% de minerais inorgânicos, 3% de água e 1% de material orgânico, como proteínas. O seu componente inorgânico é formado principalmente por cristais de hidroxiapatita (HA), $(\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$, constituinte de alto teor mineral, estruturados de maneira organizada e complexa em prismas que se estendem da junção amelodentinária até a superfície externa do dente (LA CRUZ *et al.*, 2017; ATTIN *et al.*, 2021; KUN *et al.*, 2024).

Apesar de se tratar de um componente bastante resistente, em face da sua característica altamente mineralizada, o esmalte dentário é exposto a constantes alterações de pH no meio bucal, passando por um processo fisiológico que envolve a perda e ganho de íons cálcio e fosfato, conhecido como desmineralização - remineralização (DES-RE). Quando ocorre desequilíbrio no processo DES-RE, a estrutura dentária perde minerais para o meio, caracterizando a desmineralização, fenômeno que em caso de não intervenção, fomenta em danos à estrutura dentária, como é o caso da erosão dentária (INCHINGOLO *et al.*, 2023. EPPLÉ; ENAX; MEYER, 2022. NEEL *et al.*, 2016).

A HA, o principal componente mineral do esmalte dental, possui uma estrutura hexagonal com dois tipos principais de sítios de troca iônica, conhecidos como sítios A e B. Nos sítios A, os íons hidroxila (OH^-) podem ser substituídos por íons flúor (F^-) ou cloreto (Cl^-), o que é fundamental para o processo de fluoretação do esmalte e a melhora da resistência ao ataque ácido. Nos sítios B, os íons PO_4^{3-} podem ser substituídos por íons CO_3^{2-} (carbonato), o que pode ocorrer naturalmente ou em resposta a alterações no ambiente bucal, influenciando a

solubilidade e a reatividade dos cristais de HA. Além disso, íons silicato (SiO_4^{4-}) podem substituir os íons fosfato nos sítios B, formando uma estrutura de hidroxiapatita enriquecida com silício (EPPLÉ; ENAX; MEYER *et al.*, 2022. HAN *et al.*, 2022). Essa substituição tem sido associada ao aumento da bioatividade e da capacidade remineralizadora do esmalte, pois o silício pode promover a formação de uma camada mineral mais resistente e menos solúvel (VILHENA *et al.*, 2021).

O esmalte dentário bovino é amplamente utilizado em pesquisas odontológicas devido à sua maior disponibilidade, facilidade de manipulação e propriedades estruturais semelhantes às do esmalte humano. Apresentando composição mineral, microdureza e rugosidade comparáveis, tornando-se um substrato eficaz para pesquisas sobre adesão, desgaste e agentes remineralizantes (CHALKIDIS *et al.*, 2023; MAGALHÃES *et al.*, 2008). Além disso, sua maior espessura e permeabilidade permitem avaliar a eficácia de tratamentos em condições controladas, reduzindo a necessidade de uso de dentes humanos, contribuindo de forma significativa para a compreensão de processos que afetam os tecidos dentais mineralizados (CHALKIDIS *et al.*, 2023. VIEIRA *et al.*, 2005).

Embora o esmalte seja um tecido extremamente rígido, possui permeabilidade que permite a difusão de íons e moléculas pequenas, característica essencial para o processo de remineralização (EPPLÉ; ENAX; MEYER, 2022. LACRUZ *et al.*, 2017). Portanto, compreender a estrutura e a dinâmica do esmalte é essencial para o estudo da erosão dentária.

2.2 Erosão dentária e desgaste erosivo

Com o declínio das perdas dentárias por doenças infecciosas, tem sido observado um significativo aumento da longevidade dentária. Entretanto, na última década, a erosão dentária tem chamado atenção da comunidade científica, em virtude da sua crescente prevalência e etiologia multifatorial (JAEGGI, LUSSI, 2014. LUSSI; CARVALHO, 2014).

A erosão dentária é definida como uma dissolução mineral da superfície dentária, de natureza progressiva, sem o envolvimento de bactérias, provocada por ácidos presentes no meio bucal (LUSSI *et al.*, 2011). Sua etiologia é multifatorial, pois envolve a interação de fatores químicos, biológicos e comportamentais, que

desencadeiam uma desmineralização, por ácidos ou agentes quelantes, do tecido dentário mineralizado, que podem ter origem intrínseca ou extrínseca (CARVALHO *et al.*, 2014).

Os fatores extrínsecos envolvem contato com ácidos exógenos, disponíveis na cavidade oral através de dieta rica em alimentos e bebidas ácidas tais como refrigerantes, vinho e frutas cítricas; ingestão frequente de medicamentos com caráter ácido e/ou exposição à ácidos presentes no meio ambiente, tais vapores e líquidos presentes em determinados ambientes de trabalho. No entanto, os ácidos da dieta são a principal causa da erosão dental por fatores extrínsecos. (BARBOSA *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*, 2014).

Os fatores intrínsecos envolvem a exposição aos ácidos estomacais, principalmente em indivíduos com condições médicas que levam ao refluxo gastroesofágico ou vômito frequente, como bulimia e doenças do trato gastrointestinal. Estudos como o de Bartlett *et al.* (2013) apontam que o refluxo ácido pode ser particularmente destrutivo, já que os ácidos gástricos têm um pH extremamente baixo (cerca de 1 a 2), o que é mais corrosivo do que a maioria dos ácidos ingeridos (LUSSI, CARVALHO, 2014).

A frequência e o tempo de exposição a substâncias ácidas são fatores cruciais para o surgimento e a progressão da erosão dentária. Quando os tecidos dentais duros permanecem expostos a um pH bucal abaixo de 5,5, considerado crítico, a desmineralização do esmalte ocorre, favorecendo assim a erosão dentária (BARTLETT *et al.*, 2013. CARVALHO *et al.*, 2021).

Além dos fatores diretos, outros aspectos como a saliva, que age como um agente protetor natural dos dentes, têm papel fundamental. A saliva ajuda a tamponar os ácidos e a remineralizar o esmalte. Pacientes com fluxo salivar reduzido, seja por condições médicas ou por uso de medicamentos, têm maior risco de desenvolver erosão (HARA; ZERO, 2014).

Ademais, a literatura atual reitera que o desgaste decorrente de quadros de erosão dentária não advém apenas do contato com substâncias ácidas (que representa um fator primário, pois provoca o amolecimento da superfície dentária), mas também dos processos de abrasão e atrição dental, que se caracterizam

como agravantes mecânicos (fatores secundários), que ocorrem na cavidade oral de forma concomitante e repetitiva, bem como o processo erosivo, sendo denominado portanto, de desgaste dentário erosivo quando na presença dos fatores mecânicos supracitados, que quando não diagnosticados e tratados precocemente, trazem prejuízos consideráveis à saúde, estética e função do paciente, podendo acarretar a perda dentária. (SHELLIS; ADDY, 2014. SCHLUETER *et al.*,2019; DONOVAN *et al.*,2021. NÉ *et al.*,2022. SOUZA *et al.*,2020. AINOOSAH *et al.*,2020)

2.3 Dentifrícios fluoretados

O dentifrício é um dos produtos de higiene bucal mais amplamente utilizados na prevenção de doenças bucais, representando um método preventivo individual e coletivo robusto, desempenhando um papel essencial na manutenção da saúde oral. Sua formulação inclui uma combinação de substâncias ativas e excipientes que visam prevenir cáries, controlar o acúmulo de biofilme, reduzir a hipersensibilidade dentinária e promover a remineralização do esmalte e dentina frente às intempéries às quais estão expostos no ambiente bucal (COLOMBO *et al.*, 2019; CHALKIDIS *et al.*, 2023; VIEIRA *et al.*, 2005).

Além de auxiliar a limpeza da superfície associada com a desorganização mecânica do biofilme através da escovação, promove transporte de agentes terapêuticos que atuarão na prevenção e tratamento de doenças bucais. São compostos por diversos ingredientes, cada um com uma função específica, que devem ser compatíveis entre si para garantir tanto suas propriedades cosméticas quanto o efeito preventivo e terapêutico desejado, desde que presentes em concentrações adequadas (CHALKIDIS *et al.*, 2023; MAGALHÃES *et al.*, 2008; AHMADIAN *et al.*, 2018. PHILIP *et al.*,2018).

A formulação dos cremes dentais geralmente inclui componentes como abrasivos, umectantes, água, espessantes, detergentes, flavorizantes, conservantes, adoçantes, corantes e agentes terapêuticos. Estes últimos desempenham um papel fundamental, oferecendo propriedades anticárie, antigengivite, antitártaro, dessensibilizantes e antierosivas, geralmente em concentrações entre 0,4% e 1% na composição total. É crucial destacar que a

eficácia desses agentes terapêuticos depende de sua forma solúvel, garantindo sua biodisponibilidade para agir adequadamente no ambiente bucal (COLOMBO *et al.*, 2019; VIEIRA *et al.*, 2005; MAGALHÃES *et al.*, 2008).

No contexto de lesões de erosão dentária, é fundamental compreender que, após o amolecimento causado pela exposição a ácidos, o esmalte dentário se torna significativamente mais suscetível à abrasão, aumentando o risco de desgaste erosivo. Diante disso, é essencial que os dentifrícios sejam desenvolvidos com formulações capazes de minimizar os danos provocados tanto pela ação dos ácidos quanto pela abrasão decorrente da escovação (CHALKIDIS *et al.*, 2023; MAGALHÃES *et al.*, 2008; VIEIRA *et al.*, 2005).

O flúor é o agente terapêutico mais amplamente utilizado nas formulações de dentifrícios devido à sua capacidade de substituir os íons hidroxila (OH^-) da hidroxiapatita do esmalte por íons fluoreto (F^-), formando uma camada de fluorapatita. Essa camada é mais resistente ao desgaste erosivo, proporcionando proteção eficaz, desde que o flúor esteja presente em concentrações de pelo menos 1000 ppm F^- , garantindo benefícios terapêuticos com risco mínimo de efeitos adversos (MAGALHÃES *et al.*, 2008; LUSSI; CARVALHO, 2019. EPPLÉ *et al.*, 2022).

No entanto, o efeito preventivo e remineralizador do flúor é limitado aos estágios iniciais da erosão dentária. Diferentemente do que ocorre na cárie, em que os íons fluoreto permanecem no biofilme e promovem remineralização conforme o pH se eleva, na erosão esses íons são rapidamente removidos pela saliva, resultando em perda estrutural em camadas. Isso dificulta a reparação e aumenta a suscetibilidade ao desgaste. Para alcançar a supersaturação de fluorapatita em pH inferior a 4,5, seriam necessárias concentrações extremamente elevadas de fluoreto, o que é impraticável clinicamente (LUSSI; CARVALHO, 2019. MAGALHÃES *et al.*, 2008). Além disso, regulamentações como a Resolução nº 530 de 04 de agosto de 2021 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) limitam a concentração de flúor em dentifrícios a no máximo 1500 ppm F^- para comercialização sem prescrição.

Nos últimos anos, tem ocorrido crescente resistência ao uso de flúor, muitas vezes impulsionado pela disseminação de informações incorretas e sem base científica. Entre as principais preocupações estão o risco de fluorose dentária e potenciais efeitos neurotóxicos do flúor no desenvolvimento cerebral. Esse cenário tem contribuído para o aumento da demanda por produtos de higiene bucal sem flúor (DONOVAN *et al.*, 2021; EPPLE *et al.*, 2022. PHILIP *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, o interesse pelo aperfeiçoamento e busca por composto alternativos ao Flúor seguem crescentes na comunidade científica, torna-se crucial a investigação de compostos bioativos capazes de atuar como alternativas ao flúor, promovendo a remineralização de lesões iniciais de erosão dentária de forma eficaz e segura.

2.4 Novas tecnologias bioativas em dentifrícios

Os agentes bioativos têm ganhado destaque na odontologia restauradora e preventiva, alinhando-se aos princípios da odontologia minimamente invasiva. Sua capacidade de interagir com os tecidos dentários, induzir respostas biológicas positivas e promover regeneração, reparação ou remodelação tecidual reduz a necessidade de intervenções invasivas, tornando-os amplamente aplicáveis em diversas especialidades odontológicas (TOSCO *et al.*, 2023; KIM *et al.*, 2021. PHILIP *et al.*, 2018).

Esses agentes oferecem uma abordagem terapêutica inovadora, não apenas depositando materiais sobre o esmalte ou a dentina, mas promovendo ativamente a remineralização e regeneração das estruturas dentárias afetadas pela desmineralização. Seu efeito terapêutico é alcançado pela formação de camadas de apatita ou hidroxiapatita, ação antimicrobiana e liberação de íons como flúor, fosfato e cálcio. Esses íons penetram nas microporosidades dentais, facilitando a integração com os tecidos e contribuindo para a preservação da vitalidade pulpar (TOSCO *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2023).

As novas tecnologias para remineralização de tecidos dentários duros podem ser classificadas em dois grandes grupos: (a) tecnologias sem flúor, como formulações biomiméticas que promovem uma remineralização mais profunda das

lesões; e (b) produtos que potencializam a eficácia do flúor, conhecidos como “F-boosters” (SAMPAIO *et al.*, 2024. PHILIP *et al.*, 2018).

A sílica é um exemplo de substância bioativa, frequentemente citada como agente abrasivo suave e espessante nas composições de cremes dentais. É caracterizada como um elemento semi-metálico que, ao reagir com o oxigênio em altas temperaturas, forma dióxido de silício (SiO_2), também conhecido como “sílica”, encontrado em formas cristalinas ou amorfas. Seus ânions (SiO_4) apresentam estrutura tetraédrica. Quando combinado com outros elementos, como cálcio ou ferro, forma silicatos, que são definidos como sais. Essas formas, incluindo íons de silício, sílica e silicatos, possuem grande relevância em produtos odontológicos devido à sua versatilidade e propriedades bioativas, potencializando a formação de apatita a partir da hidroxiapatita. Ela atua como um sítio de deposição para íons cálcio e fosfato, levando à formação de silicato de cálcio, o que facilita a nucleação de hidroxiapatita e subsequente mineralização, fortalecendo o processo de remineralização (FERNANDES *et al.*, 2022; SAMPAIO *et al.*, 2024).

Tal agente está inserido em algumas tecnologias presentes em dentifrícios atualmente comercializadas, tais como: NovaMin® (presente no dentifrício Sensodyne Repair & Protect, da fabricante Haleon, contendo 1420 ppm F^- (MFP) + Biovidro), NR5® (presente no dentifrício Regenerate, da fabricante UNILEVER, contendo 1450 ppm F^- (NaF e MFP) + Silicato de cálcio + Fosfato de sódio) e REFIX® (presente no dentifrício Regenerador Sensitive, da fabricante Dental Clean, contendo 1450 ppm F^- (NaF) + Sílica + Fosfato de sódio + ácido fosfórico), (SAMPAIO *et al.*, 2024)

Diante dessa perspectiva, o silício, a sílica e o silicato surgem como componentes promissores em materiais bioativos voltados à remineralização e reparo do esmalte e da dentina (SAMPAIO *et al.*, 2024. FERNANDES *et al.*, 2022. VILHENA *et al.*, 2021). Diversas formulações de dentifrícios têm sido desenvolvidas com diferentes concentrações de fluoreto, incluindo opções com a concentração padrão de 1450 ppm F, concentrações reduzidas, como 1100 ppm F, e até mesmo versões isentas de fluoreto. Essas formulações têm a intenção de promover a remineralização funcional dos tecidos dentários por meio da formação de uma

camada rica em silício sobre o esmalte e a dentina, aprimorando as propriedades mecânicas e a funcionalidade do tecido dentário. Embora o reparo completo do esmalte não seja viável *in vivo* devido à sua natureza acelular, essas alternativas buscam alcançar um conceito funcional similar ao reparo, apresentando eficácia tanto com a presença de flúor quanto na sua ausência (SAMPAIO *et al.*, 2024. FERNANDES *et al.*, 2022).

Diferentemente das outras tecnologias que atuam predominantemente em meio alcalino, algumas abordagens de regeneração dentária utilizam complexos bioativos acidificados, como os presentes na tecnologia REFIX®. Esses compostos, compostos principalmente por sílica e fosfatos, se ionizam ao entrar em contato com o ambiente bucal, ligando-se à estrutura dental e capturando partículas de cálcio disponíveis no meio. Esse processo facilita a formação de camadas de hidroxiapatita enriquecidas com silício, promovendo a remineralização em áreas com deficiência estrutural. A utilização dessa tecnologia tem demonstrado benefícios potenciais na redução da sensibilidade dentária e na proteção contra a lesão cáries e erosão (SAMPAIO *et al.*, 2024; VILHENA *et al.*, 2021; FERNANDES *et al.*, 2022).

Um aspecto particularmente relevante é participação desse agente bioativo na reorganização dos sítios cristalográficos da HA através da substituição do fosfato por íons silicato (SiO_4^{4-}) nos sítios B, que resulta na formação de uma hidroxiapatita enriquecida com silício. Sua presença nos sistemas de remineralização destaca seu papel como um elemento-chave para a otimização da resistência do esmalte e do desenvolvimento de tecnologias odontológicas avançadas. Não apenas fortalecendo o tecido dental, mas também oferece novas perspectivas para tratamentos preventivos e terapêuticos que buscam equilibrar os efeitos da desmineralização e remineralização em um ambiente bucal dinâmico (EPPLÉ; ENAX; MEYER *et al.*, 2022. HAN *et al.*, 2022. VILHENA *et al.*, 2021).

2.5 Análise das propriedades do Esmalte

2.4.1 QUANTIFICAÇÃO DA FLUORESCÊNCIA INDUZIDA POR LUZ – QLF

Na odontologia, a fluorescência é uma propriedade óptica de grande importância na caracterização de diferentes tecidos dentários, como esmalte e

dentina. O princípio da quantificação da fluorescência induzida por luz (QLF) em materiais biológicos é que os compostos presentes intrinsecamente aos tecidos (autofluorescência) ou através do uso de agentes externos, como corantes, promovem a emissão da fluorescência quando excitados por luz de determinado comprimento de onda (BAFAKEEH *et al.*, 2019. BÖDECKER *et al.*, 2020. KACZMAREK *et al.*, 2021).

A tecnologia QLF é uma importante ferramenta diagnóstica na odontologia, possibilitando a identificação precoce de lesões dentárias, presença de biofilme, fissuras ou microtrincas e monitoramento de materiais restauradores. A técnica é baseada na emissão de luz azul, com um comprimento de onda específico, proporcionando uma abordagem não invasiva, sensível e rápida, facilitando a detecção e quantificação de alterações na estrutura dentária, destacando-se dentre as tecnologias ópticas disponíveis, tendo como benefício a possibilidade de uso intra e extraoral (BAFAKEEH *et al.*, 2019. BÖDECKER *et al.*, 2020. KACZMAREK *et al.*, 2021).

As alterações das propriedades ópticas do tecido permitem que o esmalte hígido e desmineralizado sejam diferenciados de forma precoce, antes mesmo que ocorram alterações perceptíveis a olho nu, pois a fluorescência é menor nas áreas em que há perda de mineral, fazendo com que elas sejam observadas como manchas escuras na imagem obtida pelo QLF, sendo um instrumento validado para fins diagnósticos, possuindo precisão similar aos métodos de microradiografia transversal e tomografia de coerência óptica (ELTON *et al.*, 2009. PRETTY; EDGAR; HIGHAM, 2004. CHEW *et al.*, 2014. ABLAL *et al.*, 2017).

Além de sua utilização como ferramenta diagnóstica, a quantificação de fluorescência induzida por luz também pode ser utilizada como recurso para controle de tratamentos empregados possibilitando o monitoramento de lesões ao longo do tempo, o que é essencial para se determinar atividade da lesão e assim estruturar um plano de terapêutico eficiente (HUANG *et al.*, 2020).

2.4.2 MICRODUREZA SUPERFICIAL

A microdureza superficial é uma propriedade mecânica, definida como a capacidade de um corpo resistir a uma penetração permanente (deformação

plástica) em sua superfície, sendo calculada baseada na resposta que o material testado apresenta diante da carga que lhe é aplicada, possuindo relação com outras propriedades tais como: resistência a risco, compressão, degradação química, abrasão, corte, desgaste, ductilidade e limite de proporcionalidade, refletindo sua relevância para comportamento clínico diante de tais desafios (BARBOUR; REES, 2018. BASTING *et al.*, 2021. PASSOS *et al.*, 2012).

A técnica de microdureza Vickers ou Knoop é amplamente utilizada para essa medição, onde um indentador de diamante é pressionado sobre a superfície do material, e o tamanho da impressão resultante é medido para determinar a dureza, sendo realizado em áreas de menor dimensão, que graças a utilização de cargas de baixo valor, gera indentações suficientemente pequenas para determinar a dureza de forma mais localizada, sendo uma técnica amplamente utilizada na odontologia para avaliar as propriedades mecânicas de tecidos e materiais dentários (BARBOUR; REES, 2018. PASSOS *et al.*, 2012).

Trata-se de uma propriedade interessante para determinar a suscetibilidade e impacto da exposição dos tecidos dentais às substâncias presentes no meio bucal, longevidade de materiais restauradores, como resinas compostas e cerâmicas, onde o desgaste mecânico constante e a exposição aos processos químicos tais como contato com ácidos, podem comprometer sua integridade (BASTING *et al.*, 2021. ZHANG *et al.*, 2019. MOTA *et al.*, 2019).

É frequentemente utilizada para avaliar a resistência do esmalte e da dentina à erosão provocada por ácidos alimentares e bebidas, visto que a literatura relata que o esmalte com baixa microdureza é mais suscetível à perda mineral e abrasão, especialmente em pacientes com dietas ricas em ácido, o que frisa a importância de tratamentos preventivos para proteção do esmalte (BARBOUR; REES, 2018. PASSOS *et al.*, 2012).

2.4.3 MMORFOLOGIA SUPERFICIAL DO ESMALTE

A perfilometria óptica sem contato é uma técnica avançada e amplamente empregada na odontologia para a avaliação de alterações na superfície dos tecidos dentários e materiais odontológicos, sendo particularmente útil em estudos relacionados à cárie e erosão dentária. Trata-se de um método baseado em

princípios ópticos, como a interferometria ou a varredura a laser, que permite medir com alta precisão e sensibilidade as alterações morfológicas em superfícies, oferecendo uma gama de variáveis quantitativas e qualitativas que podem ser obtidas durante a análise de superfícies dentárias. Por ser uma técnica não destrutiva, evita danos à amostra, possibilitando análises repetidas e estudos longitudinais (ZHAO *et al.*, 2020; HUANG *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2016).

No contexto da remineralização, a perfilometria óptica é utilizada para quantificar alterações na superfície do esmalte e dentina submetidos a tratamentos remineralizadores, como fluoretos, soluções de cálcio e fosfato, agentes bioativos e outras substâncias. A técnica permite avaliar a profundidade e o volume de lesões simuladas antes e após o tratamento, além de analisar a rugosidade superficial do tecido dentário. Isso é especialmente relevante para validar a eficácia de agentes remineralizadores e tratamentos preventivos (ZHAO *et al.*, 2020; HUANG *et al.*, 2018).

Além disso, a perfilometria óptica também é amplamente empregada na avaliação da desmineralização dentária, como ocorre na erosão dentária, visto que a técnica permite identificar e quantificar a perda de volume do esmalte e a alteração na topografia da superfície, fornecendo informações valiosas sobre os efeitos de substâncias ácidas e a eficácia de produtos protetores (HUANG *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2016).

Entre as principais vantagens da perfilometria óptica estão sua alta precisão, reprodutibilidade e a capacidade de fornecer dados tridimensionais detalhados. A técnica é capaz de detectar mudanças sutis na morfologia do esmalte, com resolução micrométrica, sendo ideal para estudos que demandam medições quantitativas e qualitativas. Além disso, por não requerer contato direto com a superfície dentária, evita a introdução de artefatos devido ao manuseio (ZHAO *et al.*, 2020; LEE *et al.*, 2016).

No entanto, como toda técnica, a perfilometria óptica apresenta algumas limitações, como o alto custo dos equipamentos e a necessidade de condições controladas para evitar interferências ópticas. Apesar disso, seu uso na avaliação de erosão e remineralização tem se mostrado relevante na pesquisa odontológica.

Estudos recentes, como os de Zhao *et al.* (2020), destacam a eficácia dessa técnica na quantificação de alterações no esmalte após tratamentos remineralizadores, enquanto trabalhos de Huang *et al.* (2018) revisam sua aplicabilidade em análises de desmineralização e remineralização. Além disso, Lee *et al.* (2016) compararam a perfilometria óptica com métodos de contato, demonstrando que a técnica sem contato oferece maior precisão para superfícies dentárias.

Portanto, a perfilometria óptica sem contato é uma ferramenta fundamental tanto para avaliar a eficácia de agentes remineralizadores quanto para estudar os efeitos da erosão dentária, contribuindo significativamente para o desenvolvimento de novos tratamentos preventivos e remineralizadores em odontologia (ZHAO *et al.*, 2020; HUANG *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2016).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral:

Avaliar, *in vitro*, a eficácia remineralizadora de dentifrícios à base de silicato, formulados com diferentes concentrações de fluoreto, no tratamento do esmalte dentário erodido por meio de análises de microdureza superficial, fluorescência mineral e topografia superficial.

3.2 Objetivos Específicos:

- Avaliar e comparar as medidas de microdureza superficial nas três áreas de estudo: hígida (SH0), erodida (SH1) e tratada (SH2).
- Determinar e comparar o percentual de alteração da microdureza superficial (%SMHC) no esmalte erodido após o tratamento com os dentifrícios.
- Quantificar e comparar a eficácia da remineralização, utilizando a análise da fluorescência mineral (ΔF_{dif}) como indicador quantitativo, após o tratamento com dentifrícios.
- Determinar e comparar o percentual de ganho de fluorescência mineral (% ΔF_{dif}) no esmalte erodido após o tratamento com os dentifrícios testados.

- Avaliar e comparar as medidas de rugosidade superficial nas três áreas de estudo: hígida (Ra0), erodida (Ra1) e tratada (Ra2).
- Determinar a perda de superfície em diferentes áreas após os desafios abrasivos, comparando a perda superficial entre a área hígida e a área erodida (SL0) e entre a área hígida e a área tratada (SL1).
- Comparar a variação da perda de superfície entre os grupos (ΔSL) no esmalte erodido após tratamento com dentifrícios testados.

4. ARTIGO 1

O manuscrito a seguir será submetido para publicação no periódico Brazilian Oral Research.

Área Temática: Cariologia

Título: Dentifrícios Bioativos com Silício: Explorando Novos Potenciais para a Reparação do Esmalte Erodido

Title: Bioactive Silicon Toothpastes: Exploring New Potentials for Eroded Enamel Repair

RESUMO

Avaliar o impacto de dentifrícios com silício bioativo, associados ou não a diferentes concentrações de fluoreto, na microdureza superficial e na alteração mineral de lesões de esmalte erodido. Sessenta blocos de esmalte foram distribuídos aleatoriamente em cinco grupos (n=12/grupo): RGS1 (dentifrício REFIX[®] com 1450 ppm F), RGS2 (dentifrício REFIX[®] com 1100 ppm F), RGS3 (dentifrício REFIX[®] sem flúor), controle negativo - CN (dentifrício sem flúor e sem REFIX[®]) e controle positivo - CP (dentifrício com 1100 ppm F sem REFIX[®]). Os blocos de esmalte foram divididos em três partes: hígido (não tratado), erodido (lesão desmineralizada) e tratado (lesão erosiva submetida à ciclagem de pH com dentifrícios). As amostras foram submetidas a um modelo de ciclagem de pH por 5 dias. O desafio erosivo foi realizado 4 vezes ao dia (90s), e após o primeiro e último ciclos, as amostras foram tratadas com suspensões de dentifrícios (1:3) por 2 minutos, em máquina de escovação padronizada. A microdureza superficial foi medida nas áreas hígida (SH0), erodida (SH1) e tratada com dentifrício (SH2), e o percentual de alteração da microdureza superficial (%SMHC) foi calculado. Após o tratamento, o ganho mineral foi medido pela Fluorescência Quantitativa Induzida por Luz (QLF) entre $\Delta F0$ (área saudável-erodida) e $\Delta F1$ (área saudável-tratada). O ganho de fluorescência mineral (ΔF_{dif}) foi calculado usando a diferença entre $\Delta F1$ e $\Delta F0$. Os dados foram analisados estatisticamente por ANOVA one way e repeated measures, seguido do teste de Tukey ($p < 0,05$). Os dentifrícios com tecnologia REFIX[®] foram mais eficazes no aumento da dureza superficial do esmalte e no ganho mineral após o tratamento ($p < 0,05$). O ranking de %SMHC foi: RGS2 > RGS1 > RGS3 = PC > CN. O ranking de ganho de fluorescência (ΔF_{dif}) foi: RGS2 = RGS1 = RGS3 > CP > CN. O grupo CN mostrou perda de dureza superficial e de fluorescência mineral após o tratamento. O CN foi o grupo que obteve maior rugosidade superficial após o tratamento. Os demais grupos (RGS e CP) obtiveram maior lisura superficial após uso ($p < 0,05$). O grupo CN também apresentou maior perda de superfície dentária em comparação aos demais ($p < 0,05$). Os dentifrícios RGS1, RGS2, RGS3 e CP apresentaram valores de perda de superfície semelhantes entre si ($p < 0,05$). Pode-se concluir que os dentifrícios que associaram a sílica e o fluoreto apresentaram o melhor desempenho quando comparado ao uso do flúor isolado. A sílica bioativa, mesmo na ausência do

fluoreto, foi capaz de promover um ganho mineral e aumento na dureza superficial do esmalte.

Palavras-chave: Sílica; Silicatos; Dentifrícios; Erosão dental; Esmalte dental.

INTRODUÇÃO:

A erosão dentária é caracterizada pela perda progressiva de minerais na superfície dental, causada pela exposição a ácidos presentes na cavidade oral, sem a participação bacteriana¹⁻⁴. Essa condição multifatorial resulta da interação entre fatores químicos, biológicos e comportamentais, que desmineralizam o esmalte e a dentina. Os fatores erosivos podem ser extrínsecos, como o consumo de alimentos e bebidas ácidas, o uso de medicamentos acidificados e a exposição a substâncias corrosivas⁵⁻⁶. Também podem ter origem intrínseca, associada a distúrbios gastroesofágicos e alimentares que expõem os dentes aos ácidos gástricos de forma contínua⁶⁻¹¹.

A prevalência da erosão dentária tem crescido significativamente, afetando entre 20% e 45% da dentição permanente e de 30% a 58% da dentição decídua¹²⁻¹⁵. Essa condição não apenas compromete a estética dentária, mas também afeta a função mastigatória. Além disso, a progressão da erosão pode ser intensificada por fatores mecânicos, como abrasão, atrição e abfração, que agravam o desgaste dentário erosivo e podem levar a danos substanciais ou até à perda dentária, caso não sejam tratados precocemente¹⁶⁻¹⁹.

Diante dos desafios impostos pela erosão dentária, a odontologia tem investido em formulações de dentifrícios com propriedades terapêuticas, protetoras e remineralizadoras, alinhadas aos princípios da Odontologia minimamente invasiva. Entre os agentes bioativos utilizados, o silício tem se destacado por sua capacidade de interagir com os tecidos dentários e promover respostas biológicas favoráveis. Esses compostos facilitam a deposição de íons cálcio e fosfato, resultando na formação de camadas mineralizadas que podem aumentar a resistência do esmalte a novos desafios erosivos²⁰⁻²⁹.

Tecnologias que combinam flúor, sílica e pirofosfatos têm sido desenvolvidas para potencializar a remineralização dentária^{8,9,25,30}. Essas formulações são projetadas para promover a formação de camadas de hidroxiapatita fluoretada enriquecidas com silício, denominadas "enamel-like." Essas camadas apresentam maior resistência à solubilidade em ambientes ácidos e favorecem a remineralização profunda do esmalte erodido. Adicionalmente,

essas tecnologias auxiliam na redução da porosidade e da sensibilidade dentinária, enquanto reforçam a estrutura dentária contra processos de desmineralização futuros^{28,30-32}. Tais abordagens bioativas têm se mostrado promissoras no manejo da erosão dentária, oferecendo soluções eficazes para minimizar os danos estruturais causados por ácidos na cavidade oral.

Este estudo *in vitro* teve como objetivo avaliar a eficácia de dentifrícios à base de silício, combinados ou não a diferentes concentrações de fluoreto, na reparação de lesões de erosão do esmalte. A hipótese nula postula que a inclusão de compostos bioativos, associados ou não ao flúor, não produzirá diferenças estatisticamente significativas no aumento da dureza superficial, na melhoria da topografia do esmalte ou no ganho mineral do esmalte erodido.

METODOLOGIA:

O estudo laboratorial utilizou abordagem indutiva, com procedimento estatístico e comparativo. Tratou-se de um estudo experimental, *in vitro*, duplo-cego, com seleção aleatória.

Universo e amostra

Nesta pesquisa foram utilizados 35 dentes incisivos bovinos recém-extraídos, coletados e armazenados em solução tamponada de timol a 0,08%, sob temperatura ambiente, por no máximo 30 dias. Os dentes foram limpos e posteriormente analisados, criteriosamente, com auxílio de lupa de 5x de aumento, para identificação de possíveis manchas, rachaduras e/ou trincas ou qualquer tipo de alteração superficial no esmalte. Os dentes com quaisquer dessas condições foram excluídos da amostra.

O tamanho da amostra por grupo foi calculado com base no tamanho do efeito (d de Cohen), utilizando a diferença das médias e o desvio padrão combinado da microdureza superficial (Δ SMH) entre os grupos controle e experimental em um estudo semelhante³³. Com um tamanho do efeito de aproximadamente 1,29, a estimativa foi feita para atingir 80% de poder estatístico com um nível de significância de 5%. Isso resultou em uma recomendação de 9 amostras por grupo, que foi aumentada em 30% para compensar possíveis perdas, totalizando 12

amostras por grupo. Essa abordagem garantiu poder estatístico suficiente para detectar diferenças significativas nos efeitos de reparação e alterações morfológicas do esmalte dentário erodido.

Preparação dos espécimes

Após a análise e seleção dos dentes, 60 blocos de esmalte, de aproximadamente 4x4x2mm, foram preparados, utilizando-se um disco diamantado dupla face na cortadeira de precisão (Labcut 1010), sob irrigação constante. Os espécimes foram embebidos em resina acrílica para planificação em Politriz metalográfica, utilizando-se lixas de silicone de granulações variadas, sob irrigação constante. O polimento da superfície do esmalte foi realizado com feltros umedecidos e suspensão de diamante de 1 µm.

A microdureza superficial do esmalte inicial (SH0) foi avaliada realizando-se três indentações espaçadas 100 µm no centro de cada bloco, usando um penetrador Vickers com carga de 50 g por 10 segundos (Microdurômetro HMV-G series, Shimadzu, Kyoto, Japão). O valor médio de dureza foi calculado para cada bloco, e apenas espécimes com variações dentro de 10% do valor médio (380 ± 10 unidades de dureza Vickers) foram incluídos.

A superfície do esmalte de cada espécime foi dividida em três partes iguais: (1) área controle (hígida) , (2) área erodida (lesão de erosão) , e (3) área teste (tratamento da lesão de erosão com dentifrícios). As áreas controles, 1 e 2, foram cobertas com uma dupla camada de esmalte ácido resistente (Risqué®), antes (área 1) e após a formação da lesão de erosão (área 2). A área 3 permaneceu descoberta para receber o tratamento.

A formação da lesão erosiva foi realizada pela imersão do espécime em 0,1% de ácido cítrico (pH 2.5) durante 30 min, em temperatura ambiente (28°), sob leve agitação horizontal (60 rpm). A solução ácida foi repostada a cada 5 minutos (30 ml/espécime), até o término do tempo. Após a formação da lesão de erosão, uma nova medida de microdureza superficial foi realizada na área erodida (SMH1), seguindo os mesmos parâmetros anteriores.

Seleção dos dentifrícios e preparação dos slurries

Foram utilizados cinco tipos de dentifrícios, conforme descrito no Quadro 1. Os dentifrícios foram acondicionados em recipientes e identificados por um pesquisador independente. O código não foi revelado ao pesquisador que realizou a pesquisa e/ou analisou os dados. Para o estudo foram preparados *slurries*, misturados a razão de 1:3 de dentifrício e água deionizada. As misturas foram feitas, diariamente, antes de cada utilização, sob agitação constante durante 4 minutos, até a sua completa homogeneização.

Quadro 1. Dentifrícios utilizados no estudo

Dentifrício	Composição	Fabricante
Regenerador Sensitivo (RGS1)	1450 ppm de fluoreto de sódio , glicerina, sílica, sorbitol, lauril sulfato de sódio, água, aroma, PEF-12, goma de celulose, ácido fosfórico, xilitol, pirofosfato tetrassódico , sacarina sódica, triclosan, mentol, mica, benzoato de sódio, Tecnologia REFIX®	Rabbit Corp, Londrina, PR, Brasil (Lot number: 73045)
Regenerador Sensitivo (RGS2)	1110 ppm de fluoreto de sódio , glicerina, sílica, sorbitol, lauril sulfato de sódio, água, aroma, PEF-12, goma de celulose, ácido fosfórico, xilitol, pirofosfato tetrassódico , sacarina sódica, triclosan, mentol, mica, benzoato de sódio, Tecnologia REFIX®	Rabbit Corp, Londrina, PR, Brasil (Lot number: 020/2023)
Regenerador Sensitivo (RGS3)	Creme dental sem fluoreto, glicerina, sílica, sorbitol, lauril sulfato de sódio, água, aroma, PEF-12, goma de celulose, ácido fosfórico, xilitol, pirofosfato tetrassódico , sacarina sódica, triclosan, mentol, mica, benzoato de sódio, Tecnologia REFIX®	Rabbit Corp, Londrina, PR, Brasil (Lot number: 083/2023)
Controle Negativo (CN)	Glicerina, Sorbitol, Água, Sílica, Goma de celulose, Aroma, Xilitol, Sacarina de sódio, Benzoato de sódio	Rabbit Corp, Londrina, PR, Brasil (Lot number: 74071)
Controle Positivo (CP)	1100ppm de flúor sob a forma de Fluoreto de Sódio , Sorbitol, Água, Glicerol, Dióxido de Silício, Laurilsulfato de Sódio, Carmelose Sódica, Aroma, Xilitol, Sacarina Sódica Di-Hidratada, Benzoato de Sódio,	Rabbit Corp, Londrina, PR, Brasil (Lot number: 07802021)

Tratamento e ciclagem de pH

Antes do tratamento de ciclagem de pH, os espécimes foram inicialmente colocados em uma solução remineralizadora por 24 horas para simular o ambiente oral³⁴. O modelo de ciclagem de pH, adaptado de Simões et al. (2020)³⁵, foi realizado ao longo de cinco dias, a 37°C para induzir a remineralização do esmalte erodido. A cada dia, antes e após os desafios erosivos, as amostras permaneceram imersas em saliva artificial composta de 0.2 mM glucose, 9.9 mM NaCl, 1.5 mM CaCl₂.2H₂O, 3 mM NH₄Cl, 17 mM KCl, 2 mM NaSCN, 2.4 mM, K₂HPO₄, 3.3 mM urea, 2.4 mM NaH₂PO₄, e 11 µM ácido ascórbico (pH 6.8), conforme descrito por Magalhães et al. (2008)³⁶. Durante três vezes ao dia, as amostras sofreram desafio erosivo com solução de 0,1% de ácido cítrico (pH 2.5) por 90 segundos, sob leve agitação. Após cada desmineralização, os espécimes foram lavados com água deionizada (10s) e transferidos para a saliva artificial (pH 6.8, 30ml/espécime, 25°C), por 2h, até o próximo desafio.

Duas vezes ao dia, após o primeiro e último desafio erosivo, os espécimes foram submetidos à abrasão com máquina de escovação automatizada (MEV 3T-8XY, Odeme - Joaçaba, SC, Brasil). Cada sessão de abrasão envolveu 10 segundos de escovação com 30 mL das suspensões de dentífrico, seguidos por 110 segundos de exposição ao dentífrico, completando um total de 2 minutos de tratamento³⁵. A máquina de escovação foi padronizada para uma temperatura média de 37 °C e 11 ciclos, correspondendo a 10 segundos. Movimentos verticais em zigue-zague foram realizados, com amplitude (vertical e horizontal) de 20 mm e uma carga axial de 150 g. As suspensões de dentífrico foram preparadas antes de cada uso. Após cada sessão de abrasão, os espécimes foram enxaguados com água deionizada, e todas as soluções foram renovadas diariamente. Após cada sessão de abrasão e/ou erosão, os blocos foram lavados com água deionizada. Ao término do último tratamento diário, os espécimes permaneceram na saliva artificial até o dia seguinte. A solução de ácido cítrico foi renovada a cada desafio erosivo e a saliva artificial repostada diariamente.

Análise de microdureza superficial

A microdureza superficial foi realizada em cada etapa, conforme as configurações descritas anteriormente. A medição foi realizada por um examinador

calibrado. Ao término da ciclagem, foi realizada a microdureza final (SMH2) e o percentual da variação de dureza superficial (%SMHR) foi calculado, conforme a fórmula: $\%SMHR = (SH2 - SH1) / (SH1 - SH0) \times 100$.

Análise da quantificação de fluorescência induzida por luz (Quantitative light-induced fluorescence - QLF)

Os blocos de esmalte foram avaliados quanto à perda de fluorescência nas áreas erodidas e tratadas, usando o dispositivo Qraycam Pro (Inspektor Research System BV, Amsterdam, Holanda). Antes da análise, o esmalte de unha foi cuidadosamente removido com cotonetes embebidos em acetona diluída. Em seguida, os espécimes foram enxaguados com água deionizada e secos ao ar. Foi utilizado um sistema de captura de imagem padronizado, garantindo uma posição consistente da câmera e mantendo uma distância fixa de 8 cm entre o dispositivo e os espécimes para todas as medições de QLF ³¹. As imagens foram capturadas em uma sala escura, com configurações de exposição e contraste ajustadas para 0 e distância entre o aparelho e a amostra de 8 cm ³⁶. Um software (Q-ray versão 1.38, (Inspektor Research System BV, Amsterdã, Holanda) analisou as mudanças na quantidade de mineral no esmalte com base no valor ΔF (fluorescence loss). As medições foram feitas em duas etapas: (1) $\Delta F0$, a perda de fluorescência entre o esmalte hígido e erodido, e (2) $\Delta F1$, a de fluorescência entre o esmalte hígido e o erodido tratado com os dentifrícios. Ao final, foi calculado o ΔF_{dif} , que representou a diferença dos valores de fluorescência entre $\Delta F1$ e $\Delta F0$, conforme a fórmula: $\Delta F_{dif} = \Delta F1 - \Delta F0$. Valor positivo de ΔF_{dif} representou ganho mineral após tratamento, enquanto que negativo significa perda mineral.

Análise pela Perfilometria Óptica

A mensuração da morfologia superficial do esmalte, incluindo a rugosidade superficial (Ra) e a diferença de altura ("Step") entre as áreas erodidas, hígdas e tratada, foi realizada utilizando um perfilômetro óptico 3D sem contato (Talysurf CCI MP, Leicester, Reino Unido). Os parâmetros utilizados foram: ampliação de 20x, campo de visão de 0,86 x 0,86 mm², modo de leitura "XY" com resolução de 1024 x 1024 px, amostras de baixa refletância - rugosas - nível 4, Cut-Off de 0,25 mm, e filtro Gaussiano padrão, conforme ISO 16610-61. A rugosidade superficial (Ra) foi

mensurada em três condições: área hígida (Ra0), área erodida (Ra1) e área tratada (Ra2). A variável Step foi definida como a perda de superfície entre diferentes áreas após os desafios abrasivos, sendo: SL0: perda superficial entre a área hígida e a área erodida; SL1: perda superficial entre a área hígida e a área tratada. Essas medições foram realizadas em três linhas distintas, correspondentes aos níveis de 25%, 50% e 75% da extensão de cada amostra. Para cada variável, foi calculada a média aritmética das medições. A variação da perda de superfície (ΔSL) foi determinada pela fórmula: $\Delta SL = SL1 - SL0$, sendo os valores mais elevados de ΔSL indicam maior capacidade de perda superficial do esmalte após o ensaio abrasivo. Imagens tridimensionais representativas da variável "Step" foram geradas para uma análise qualitativa da perda de superfície associada a cada grupo testado.

Análise dos dados

Os dados foram analisados estatisticamente utilizando o pacote SPSS para Windows, versão 21.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EUA). A normalidade e a homogeneidade das variâncias foram avaliadas pelos testes de Shapiro–Wilk e de Levene, respectivamente. Como os dados apresentaram distribuição Gaussiana e variâncias iguais, não foi necessária a transformação dos dados. Utilizou-se teste ANOVA seguido de Tukey para analisar as diferenças entre os grupos em relação às variáveis SH0, SH1, SH2, %□□HR, $\Delta F0$, $\Delta F1$, ΔF_{dif} , SL0, SL1. Utilizou-se ANOVA de medidas repetidas para comparação da microdureza superficial e rugosidade superficial, dentro dos grupos, nos diferentes tempos de análise: SH0, SH1, SH2, Ra0, Ra1, Ra2. Realizou-se teste de esfericidade previamente ao teste de ANOVA de medidas repetidas. O nível de significância para todas as análises foi de 5%.

RESULTADOS

Análise de microdureza superficial

A Tabela 1 apresenta as médias e desvio padrão de microdureza superficial nos diferentes tempos de análise para as variáveis SH0, SH1 e SH2 entre os grupos. Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para SH0 e SH1 (ANOVA, $p > 0,05$), confirmando a homogeneidade inicial dos dados. No entanto, após o tratamento (SH2), diferenças significativas foram observadas entre

os grupos (ANOVA, $p < 0,001$), indicando que o tratamento com os diferentes dentifrícios afetou a dureza superficial do esmalte de maneira distinta, exceto para o RGS1 e CP, que mostraram comportamento semelhante ($p > 0,05$).

A análise intra-grupo revelou diferenças significativas entre SH0 e SH1, bem como entre SH1 e SH2 (ANOVA de medidas repetidas, $p < 0,05$), sugerindo a formação da lesão erosiva e sua alteração após o desafio erosivo, independente do dentifrício utilizado.

Tabela 1. Média e desvio padrão dos valores de microdureza superficial (Hardness Vickers) dos grupos, nos diferentes tempos de análise.

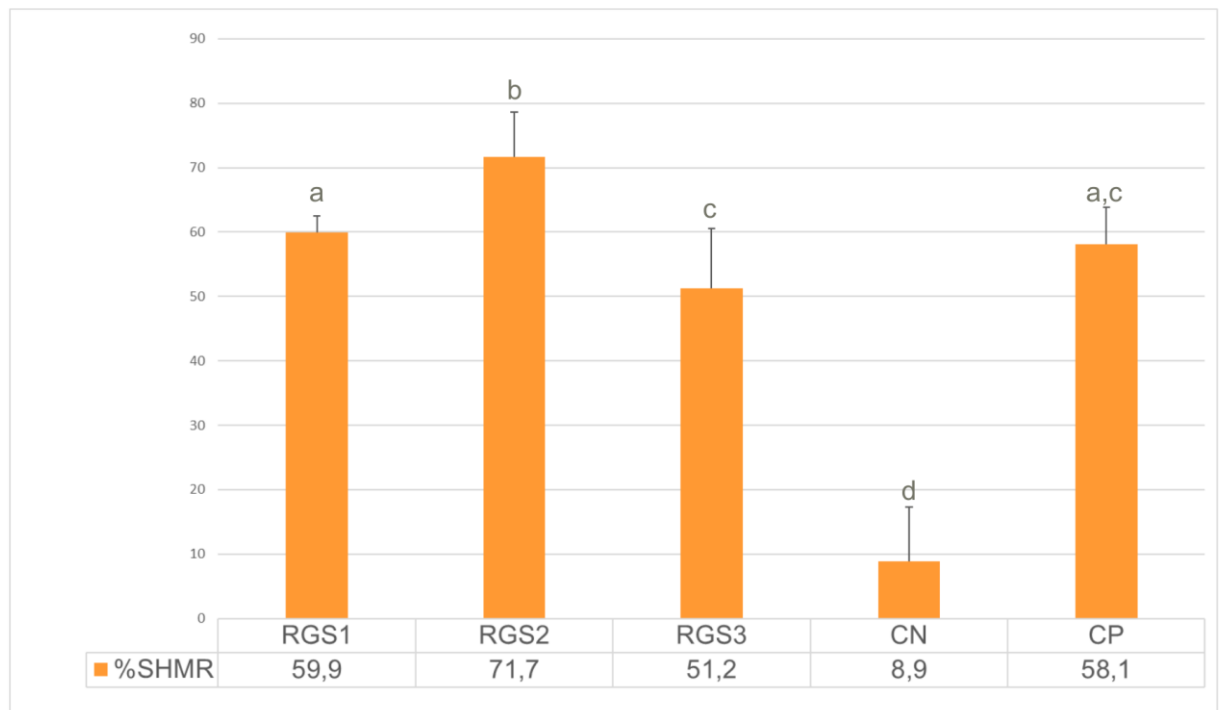
DENTIFRÍCIOS	Tempo de análise		
	SH0	SH1	SH2
RGS1	388,2 HV (6,4) ^{a,A}	190,3 HV (3,8) ^{a,B}	308,9 HV (5,4) ^{a,C}
RGS2	390 HV (6,6) ^{a,A}	193,4 HV (7,3) ^{a,B}	334,2 HV (13,2) ^{b,C}
RGS3	387,6 HV (5,2) ^{a,A}	190,7 HV (6,7) ^{a,B}	291,5 HV (17,9) ^{c,C}
CN	391,2 HV (8,9) ^{a,A}	193 HV (7,4) ^{a,B}	210,9 HV (14) ^{d,C}
CP	389,6 HV (7,8) ^{a,A}	192 HV (6,5) ^{a,B}	306,8 HV (10,3) ^{a,C}

*Letras minúsculas diferentes representam significância entre os grupos, para cada coluna analisada (ANOVA, $p > 0,05$). Letras maiúsculas diferentes representam significância dentro do mesmo grupo, para cada linha, nos diferentes tempos de análise (ANOVA medidas repetidas, $p < 0,05$).

A Figura 1 apresenta o percentual de alteração da microdureza superficial do esmalte (%SHM_r) para cada dentifrício analisado. O grupo RGS2 (1100 ppm F- + REFIX®) apresentou maior média de %SHMR, dentro os grupos ($p < 0,05$), com um aumento de dureza em torno de 23% em relação ao CP. Os grupos com tecnologia REFIX® diferiram significativamente entre si, tendo ganho de dureza representado por RGS2>RGS1>RGS3. O CP não apresentou diferença

significativa com os grupos RGS1 e RGS3 ($p>0,05$). O CN apresentou os menores valores no %SMHR.

Figura 1. Média de percentual de alteração da microdureza superficial do esmalte (%SHMR) entre os diferentes grupos analisados*.



*Letras minúsculas semelhantes representam ausência de significância entre os grupos para cada coluna analisada (ANOVA, $p>0,05$).

3.2- ANÁLISE DA QUANTIFICAÇÃO DE FLUORESCÊNCIA INDUZIDA POR LUZ (QLF)

A Tabela 2 apresenta as médias e desvio padrão dos valores de fluorescência do esmalte nos diferentes tempos de análise: $\Delta F0$ (hígido-erodido) e $\Delta F1$ (hígido-tratado). Na análise inicial ($\Delta F0$), não foram observadas diferenças significativas entre os grupos (ANOVA, $p>0,05$), indicando a formação de uma lesão erosiva uniforme, o que proporcionou uma base adequada para comparar os efeitos dos tratamentos. Após o tratamento, o $\Delta F1$ mostrou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos experimentais (ANOVA, $p<0,001$). Os grupos RGS1, RGS2 e RGS3 apresentaram valores de $\Delta F1$ inferiores a $\Delta F0$, indicando uma recuperação de fluorescência, em torno de 52%, e remineralização do esmalte cerca de 60% superior ao observado no CP. Não houve diferenças

significativas entre os grupos com tecnologia REFIX[®], independente da associação ou não com o fluoreto ($p>0,05$). O Controle Positivo (CP) demonstrou um aumento na fluorescência em torno de 15%, sugerindo um efeito remineralizador discreto. Em contraste, o Controle Negativo (CN) apresentou uma diminuição de fluorescência, indicando perda de mineral após o tratamento.

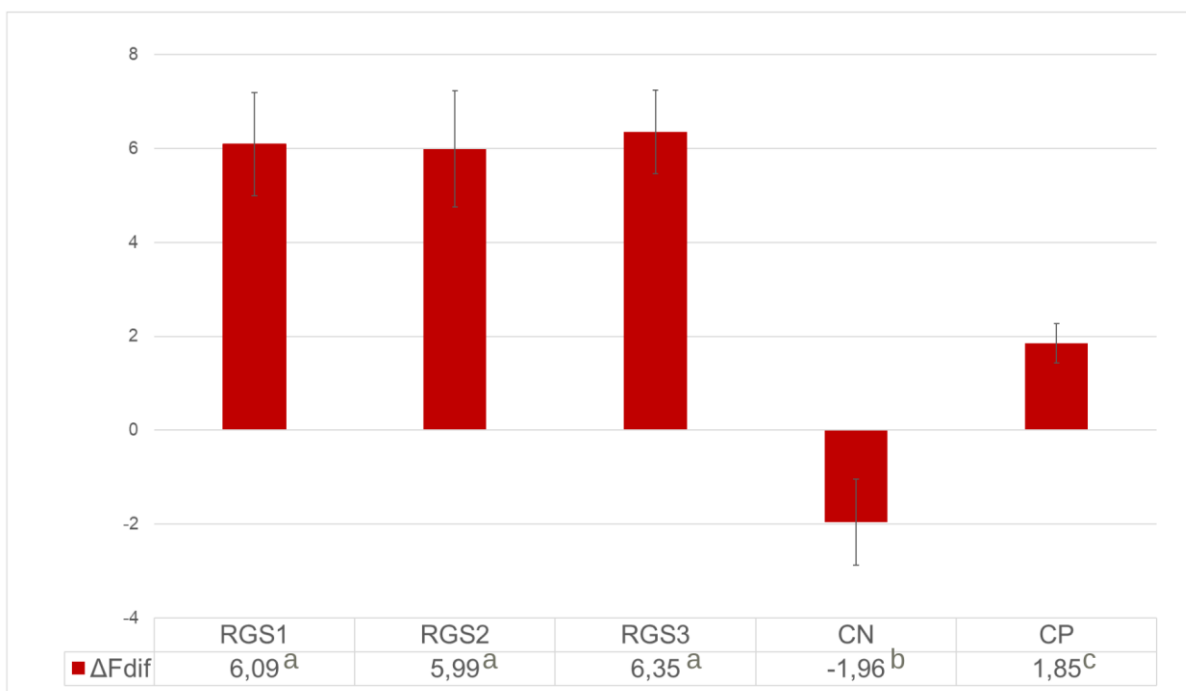
Tabela 2. Média e desvio padrão dos valores de fluorescência do esmalte nos diferentes tempos de análise hígido-erodido ($\Delta F0$) e hígido-tratado ($\Delta F1$) dos grupos.

DENTIFRÍCIOS	Tempos de análise	
	$\Delta F0$	$\Delta F1$
RGS1	-12,6 (1,0) ^a	-6,5 (0,5) ^a
RGS2	-12,7 (1,0) ^a	-6,7 (0,6) ^a
RGS3	-13,0 (0,6) ^a	-6,6 (0,5) ^a
CN	-12,8 (1,2) ^a	-14,7 (1,8) ^b
CP	-12,5 (0,8) ^a	-10,6 (0,7) ^c

*Letras minúsculas diferentes representam significância entre os grupos, para cada coluna analisada (ANOVA, $p>0,05$).

A Figura 2 mostra os valores da diferença de fluorescência (ΔFd), que representa o ganho mineral pela diferença entre os tempos $\Delta F1$ e $\Delta F0$. Os grupos RGS1, RGS2 e RGS3 mostraram uma recuperação de fluorescência significativamente maior que os controles positivo e negativo ($p<0,05$). O CN foi o único que apresentou perda mineral (fluorescência) após o tratamento ($p<0,05$). O ganho de fluorescência, calculado pelo ΔFd evidenciou uma diferença mais robusta entre os grupos com sílica e o CP (ANOVA, $p<0,001$). Esses resultados sugerem que os dentifrícios associados à sílica proporcionaram um efeito remineralizador significativo no esmalte, superior em média 220% ao observado no CP.

Figura 2. Média e desvio padrão da diferença da fluorescência (ΔF_{dif}) do esmalte entre os grupos analisados.*



*Letras minúsculas diferentes representam significância entre os grupos, para cada coluna analisada (ANOVA, $p > 0,05$).

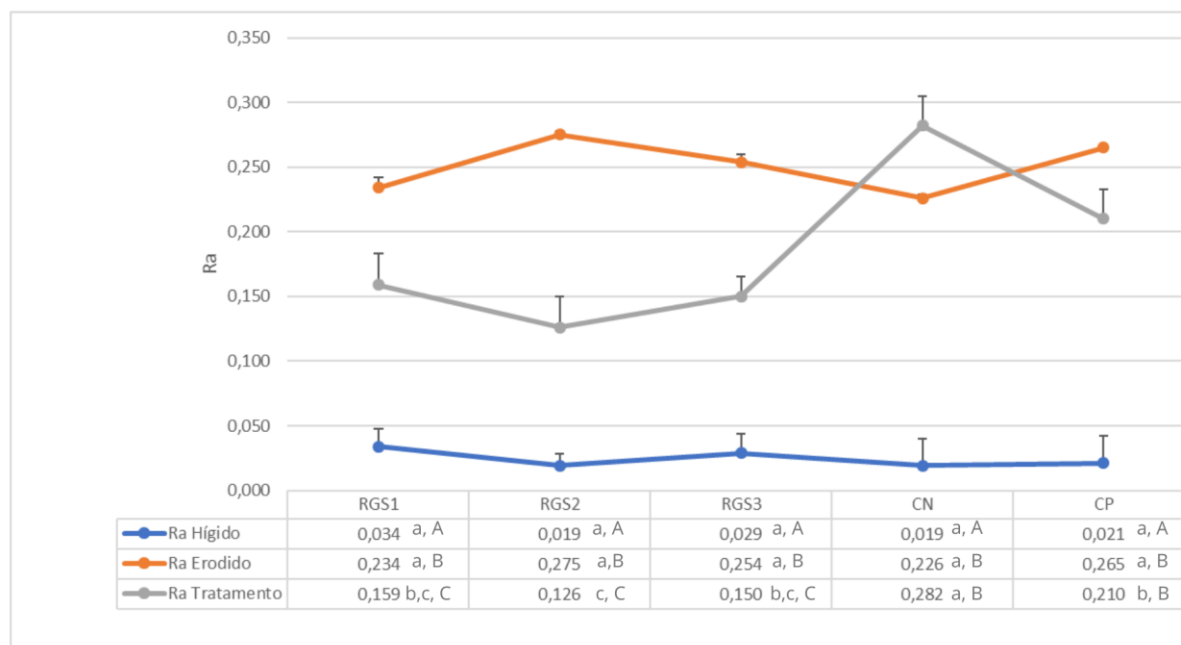
3.3- ANÁLISE DA MORFOLOGIA SUPERFICIAL DO ESMALTE

A Figura 3 apresenta os valores médios e desvios padrão da rugosidade da superfície (Ra) em três condições: Ra0 (esmalte hígido), Ra1 (esmalte erodido) e Ra2 (esmalte tratado), avaliados após os diferentes tratamentos com dentifrícios. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para Ra0 (esmalte hígido) e Ra1 (esmalte erodido), indicando que as condições iniciais de rugosidade do esmalte hígido e após erosão foram semelhantes em todos os grupos analisados ($p > 0,05$).

Para Ra2 (esmalte tratado), verificou-se que o grupo CN apresentou os maiores valores de rugosidade média (0,282 μm), seguido do grupo CP (0,210 μm), ambos significativamente diferentes de RGS2. Os tratamentos com dentifrícios contendo tecnologia REFIX®, tanto com 1450 ppm de flúor (RGS1) quanto apenas

REFIX®(RGS3), apresentaram valores intermediários de rugosidade, sendo estatisticamente semelhantes ao CP e RGS2.

Figura 3: Valores médios (μm) e desvio padrão da análise de rugosidade da superfície (n=12) de acordo com os diferentes tratamentos. *



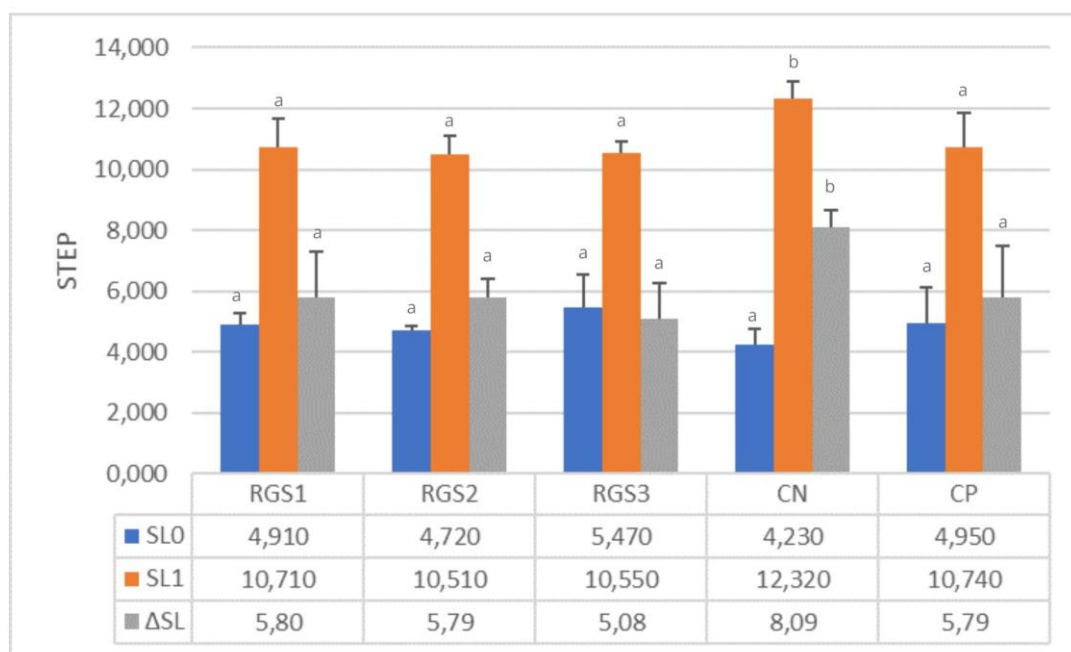
*Letras minúsculas diferentes para linhas representam diferença estatística significativa, letras maiúsculas diferentes para colunas representam diferença estatística significativa ($p < 0,05$). Ra0 (Esmalte hígido), Ra1 (esmalte erodido) e a Ra2 (esmalte tratado); RGS1: tecnologia Refix® associado a 1450 ppm de fluoreto de sódio; RGS2: tecnologia Refix® associado a 1100 ppm de fluoreto de sódio; RGS3: tecnologia Refix® sem fluoreto; CN: dentifrício sem flúor (controle negativo); CP: dentifrício com 1100 ppm de fluoreto de sódio.

A Figura 4 apresenta as médias das perdas superficiais (SL0 e SL1) e a diferença média na perda de superfície dentária (ΔSL) para os diferentes dentifrícios avaliados. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os grupos para os valores de SL0.

Para SL1, o grupo CN (controle negativo) apresentou o maior valor médio, diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos demais grupos. Os dentifrícios RGS1, RGS2, RGS3 e CP apresentaram valores menores e estatisticamente semelhantes entre si, reforçando a eficácia dos tratamentos com a tecnologia REFIX®, associada ou não ao flúor.

Em relação a ΔSL , o grupo CN também apresentou maior perda de superfície dentária ($8,09 \pm 0,14 \mu m$) em comparação aos demais, demonstrando diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). Os dentifrícios RGS1, RGS2, RGS3 e CP apresentaram valores semelhantes entre si.

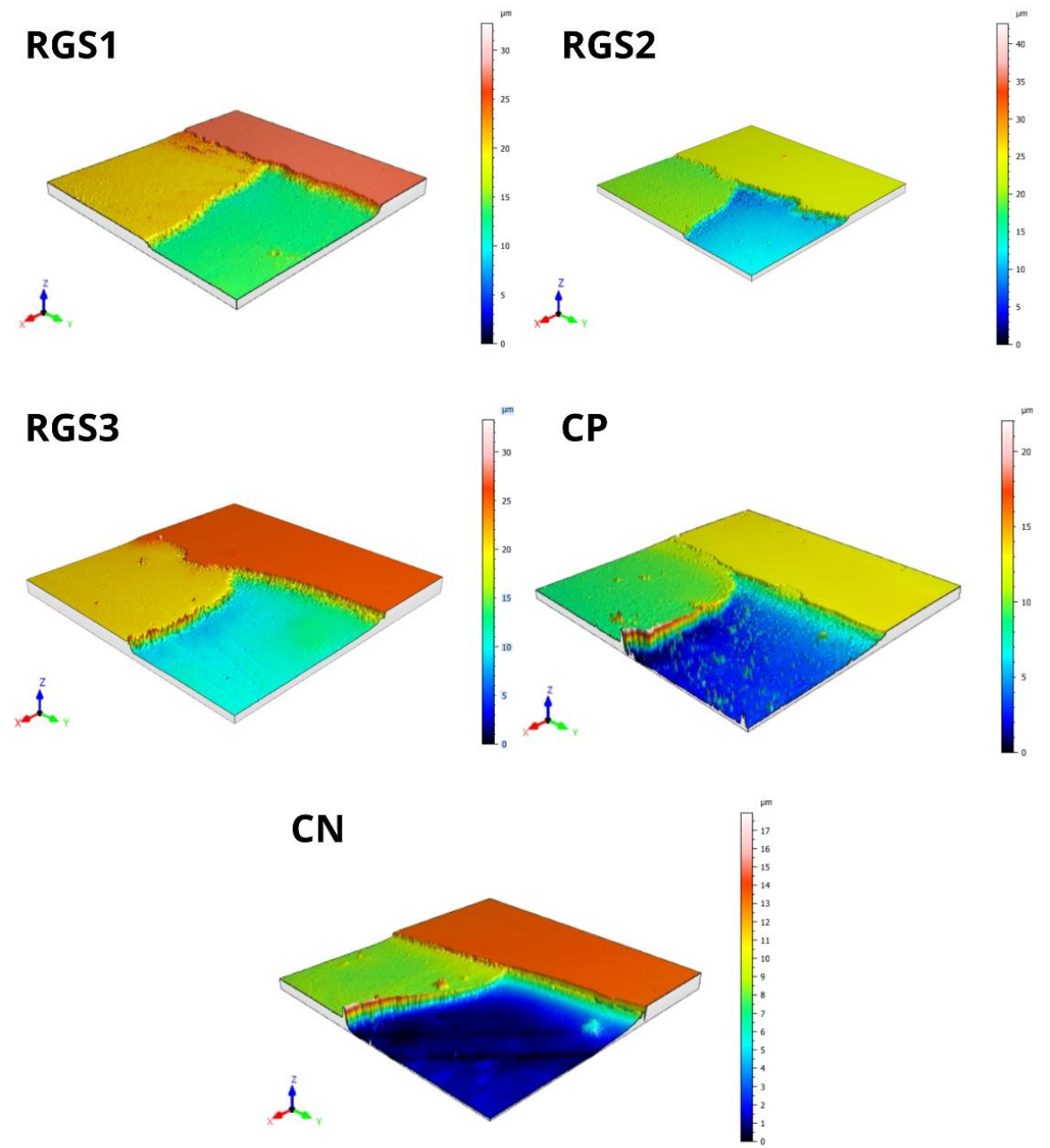
Figura 4: Média da perda superficial da área hígida para área erodida (SL0) e área hígida para área tratada (SL1), e a média da perda da superfície do dente (ΔSL), calculadas com base na diferença entre SL0 e SL1 para diferentes cremes dentais.



*Letras minúsculas diferentes para linhas, representam diferença estatística significativa ($p < 0,05$). RGS1: tecnologia Refix® associado a 1450 ppm de fluoreto de sódio; RGS2: tecnologia Refix® associado a 1100 ppm de fluoreto de sódio; RGS3: tecnologia Refix® sem fluoreto de sódio; CN: dentifrício sem flúor (controle negativo); CP: dentifrício com 1100 ppm de fluoreto de sódio.

A figura 5 expõe imagens obtidas da superfície do esmalte, abrangendo as áreas hígida (posicionada superiormente), erodida (canto inferior esquerdo) e tratada (canto inferior direito), tornando clara a maior região de perda superficial do CN, como também demonstrando que apesar de não haver diferenças estatisticamente significantes entre grupos experimentais para o CP, é perceptível pequena diferença entre o tamanho dos batentes formados após ensaio de escovação simulada, especialmente nos grupos RGS1, RGS2 e RGS3 que contavam com a adição de silício na sua composição.

Figura 5. Imagens de perfilometria 3D da superfície do esmalte de acordo com o grupo testado.



DISCUSSÃO:

Os resultados deste estudo evidenciam o impacto positivo de dentifrícios bioativos com silício na remineralização do esmalte dentário erodido, abordando uma problemática significativa da odontologia atual: a erosão dentária. Essa condição multifatorial, frequentemente associada a fatores químicos e mecânicos, como abrasão e atrição, pode evoluir para quadros mais complexos de desgaste erosivo^{16,17,24,40}. Nesse contexto, dentifrícios com propriedades remineralizadoras desempenham um papel crucial na recuperação do esmalte e na proteção contra novos ataques ácidos.

O flúor, amplamente reconhecido como remineralizador essencial, mostrou-se eficaz na formação de cristais de fluorapatita, mais estáveis e resistentes à desmineralização^{13,30,31,35,37-39,41}. A análise de microdureza revelou um aumento significativo na dureza da superfície dentária após o uso dos dentifrícios testados, com destaque para os grupos que continham formulações de fluoreto e silício. Vários estudos destacam que o flúor promove a deposição de fluoreto de cálcio na superfície dentária, funcionando como um reservatório de íons que é liberado lentamente em condições ácidas, contribuindo para a recuperação da dureza do esmalte e para a redução da solubilidade mineral^{13,25,28,31}. Portanto, o aumento da microdureza observado nos grupos fluoretados corrobora esses mecanismos, sugerindo que a presença de flúor em concentrações adequadas atua eficazmente na remineralização e na resistência do esmalte^{21,26}.

Por outro lado, sua atuação na dinâmica do processo erosivo é limitada, haja visto sua rápida solubilização no ambiente bucal, sendo mais facilmente removido pela saliva da superfície dentária, principalmente quando em contato com as substâncias ácidas e processos abrasivos, diferentemente do que ocorre na dinâmica do processo carioso, no qual o fluoreto é capaz de se depositar no biofilme dentário, criando um sítio de deposição de fluoreto que é liberado à medida que ocorrem alterações de pH no meio bucal^{11,14,28}. Diante dessa perspectiva, a inclusão de compostos bioativos de silício nas formulações dos dentifrícios apresentou uma ação bioativa complementar notável. Em estudos anteriores, compostos como a sílica e o biovidro demonstraram a capacidade de agir em sinergia com o fluoreto, interagindo com sítios distintos na hidroxiapatita^{28,30,31,39,40}.

Enquanto o flúor substitui grupos hidroxila para formar fluorapatita, que é mais resistente à desmineralização, o silício promove a deposição de cálcio e fosfato em locais adicionais, favorecendo a formação de uma camada “enamel-like” mais profunda e durável^{28,29,30,31}. Essa camada se assemelha à composição natural do esmalte e contribui para a proteção contra futuras desmineralizações. A análise de fluorescência (QLF) confirmou a recuperação mineral significativa nos grupos com silício, destacando o potencial do silício para reforçar a estrutura do esmalte e reduzir a profundidade das lesões dentárias^{28,30,31,39,40}.

Ao comparar o grupo controle positivo (CP), que continha apenas fluoreto, com os grupos contendo fluoreto e sílica (RGS1 e RGS2), foi evidente que a presença combinada dos dois compostos gerou uma resposta remineralizadora mais eficaz. O grupo CP apresentou melhora na microdureza e recuperação mineral, mas os valores alcançados por esse grupo foram inferiores aos observados nos grupos que continham tanto flúor quanto sílica, especialmente o grupo RGS2, com concentração de 1100 ppm de fluoreto. Essa diferença sugere que a sílica oferece uma ação complementar ao fluoreto, proporcionando uma mineralização adicional ao atuar em sítios distintos da hidroxiapatita, intensificando a resistência do esmalte^{28,30,31,40}.

A comparação entre os grupos com sílica (RGS1, RGS2 e RGS3) ressalta a eficácia tanto da sílica quanto do flúor na recuperação do esmalte erodido. O grupo RGS3, que continha apenas a sílica, apresentou resultados de recuperação de microdureza comparáveis ao controle positivo (CP). Na análise de fluorescência, o RGS3 apresentou desempenho superior ao CP, o que sugere que, mesmo na ausência de flúor, a sílica contribui de forma significativa para a recuperação mineral. Esses achados indicam que, embora a combinação de sílica e flúor (como nos grupos RGS1 e RGS2) proporcione uma ação sinérgica mais significativa, a sílica isolada no RGS3 ainda foi capaz de promover benefícios notáveis ao esmalte, especialmente em termos de recuperação mineral.

A crescente busca por compostos alternativos ao flúor em dentifrícios reflete, em parte, a disseminação de desinformação sobre os potenciais efeitos neurotóxicos e sistêmicos do flúor, amplificada por fake news e interpretações distorcidas de estudos preliminares. Embora estudos de alta qualidade científica

comprove a segurança e eficácia do flúor na prevenção de cáries, essas alegações infundadas geram receio à população. Nesse contexto, alternativas como bioativos emergem como opções promissoras, oferecendo benefícios remineralizadores sem os “riscos” associados ao Flúor. Além disso, esses compostos podem ajudar a combater a desinformação, ampliando a aceitação pública de produtos odontológicos seguros e eficazes, enquanto atendem à demanda por soluções mais naturais^{8,22,26-28}.

A presença de sílica parece agir em sítios específicos da hidroxiapatita, conferindo ao esmalte uma resistência considerável à desmineralização. Esse efeito de proteção estrutural, aliado aos benefícios do flúor nos demais grupos, reforça que a combinação desses agentes é ideal para maximizar a remineralização e prevenção de lesões erosivas, mas destaca também o papel promissor da sílica em protocolos de tratamento sem fluoreto^{38,39}.

Por outro lado, o grupo controle negativo (CN), que não continha fluoreto nem silício, exibiu uma redução significativa na fluorescência, sugerindo que a ausência de agentes remineralizadores ativos pode resultar na progressão da desmineralização mesmo em condições de pH balanceado. Esses resultados estão alinhados com estudos que indicam que a combinação de flúor e silício oferece uma proteção mais abrangente, promovendo a deposição mineral e reduzindo o impacto erosivo em um modelo de ciclagem de pH que simula desafios ácidos e abrasivos em ambiente oral^{2,41,42}.

Na análise de rugosidade superficial, o grupo RGS2 apresentou a menor rugosidade média após o tratamento (0,126 μm), diferindo significativamente dos grupos CN e CP. Os grupos RGS1 e RGS3, por sua vez, exibiram valores intermediários de rugosidade, indicando que a presença de flúor não foi o único fator determinante para a redução da rugosidade. Esses achados sugerem que a incorporação da sílica bioativa desempenhou um papel importante na modificação e reparo da superfície erodida, corroborando com os achados de estudos anteriores^{8,9,25,45}. O silício promove a reorganização da estrutura mineral e auxilia no reparo de microdanos superficiais, resultando em uma redução significativa da rugosidade⁹. Essa funcionalidade é atribuída à capacidade da sílica de facilitar a deposição mineral e estabilizar a camada externa do esmalte, mesmo após

repetidos desafios erosivos. Estudos prévios corroboram esses resultados, demonstrando que superfícies tratadas com dentifrícios contendo tecnologia REFIX[®] apresentam uma morfologia mais lisa e maior resistência a desgastes subsequentes, reforçando a durabilidade da camada remineralizada^{8,9,25}.

Além disso, análises de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) de um estudo que utilizou os mesmos dentifrícios demonstraram que os elementos químicos presentes na superfície do esmalte permanecem estáveis após o tratamento e os desafios erosivos, indicando que a camada protetora formada possui espessura suficiente para preservar as características químicas e estruturais do esmalte e dentina^{25,30}.

A perda de superfície (SL) avaliou a quantidade de esmalte fisicamente removida, sendo um parâmetro mais relacionado à profundidade da lesão ou desgaste promovido por processos de desgaste erosivos. Todos os grupos, incluindo os tratados com dentifrícios (RGS1, RGS2, RGS3), mostraram redução na perda de superfície (SL2) em relação ao CN. Apesar da alta eficácia dos dentifrícios no ganho mineral neste estudo (QLF), a redução na profundidade do desgaste foi limitada, indicando que a perda estrutural do esmalte foi apenas parcialmente mitigada. Dessa forma, os dentifrícios com REFIX[®] mostraram uma eficácia substancial na recuperação mineral do esmalte (QLF), mas essa recuperação não foi acompanhada por uma redução proporcional na perda de superfície (SL). Isso sugere que a remineralização é mais eficaz na superfície do esmalte, enquanto a proteção contra o desgaste físico requer estratégias adicionais, como maior tempo de exposição ao tratamento ou combinação com outros agentes remineralizadores. Esses achados podem estar relacionados à ação mecânica da escova de dentes que pode causar um desgaste adicional na camada mineralizada recém-formada pelo dentifrício^{8,9,25,30}.

O estudo de Vilhena e colaboradores⁹ indicou que a tecnologia REFIX[®] promoveu a formação de uma camada mineralizada de cerca de 14 µm sobre o esmalte com lesão de cárie artificial, enfatizando que a deposição mineral ocorreu mesmo frente ao processo abrasivo, visto que este tipo de lesão é subsuperficial, diferentemente da lesão de erosão, fator que provavelmente interferiu na ocorrência dos achados supracitados.

Compreende-se, portanto, que mesmo que os agentes remineralizadores promovam a recuperação mineral, a abrasão mecânica pode remover essa camada antes que ela se torne suficientemente espessa e resistente, o que está de acordo com os achados de estudo anterior⁵¹, que verificou a ação das tecnologias contendo sílica na erosão dentária sem abrasão, apresentando resultados superiores e recuperação de superfície após o tratamento, enfatizando que a abrasão causada durante a escovação simulada foi fator primordial para que ocorresse perda superficial após o tratamento com dentifrícios ^{1,6,8,20}.

Portanto, a abrasão causada pela escovação provavelmente removeu parte da camada mineralizada, limitando seu potencial protetor contra o desgaste físico. Isso reforça a necessidade de avaliar cuidadosamente a técnica de escovação, a abrasividade das cerdas e a força aplicada, especialmente em protocolos que envolvem esmalte submetido a desafios erosivos^{11,12,14,15}.

Diante dos presentes achados, foi possível visualizar também eficácia superior do grupo RGS2 em relação aos demais grupos diante da recuperação de microdureza superficial, ganho mineral, lisura superficial e proteção frente a perda de volume superficial após escovação, possivelmente devido ao equilíbrio entre a concentração de fluoreto e a funcionalidade da sílica. Tal achado pode ser explicado pelo efeito sinérgico exercido pela sílica quando em associação ao fluoreto em concentrações moderadas, haja visto que a maior concentração de fluoreto no grupo RGS1 pode ter exercido efeito antagonista sobre a disponibilidade e ação dos íons fosfato e cálcio, causando a formação de produtos menos solúveis na superfície do esmalte, tornando a superfície menos permeável, o que pode ter limitado a ação do silício de forma mais profunda no substrato mineral, apesar de atuar em sítios distintos na estrutura cristalográfica da HA.

Diante do exposto, o presente estudo demonstrou que dentifrícios contendo flúor e sílica têm um papel substancial na recuperação da microdureza superficial do esmalte e na remineralização de lesões erosivas. Além de corroborar a literatura existente^{8,9,25,30}, os resultados indicam que a combinação de flúor e sílica em concentrações adequadas proporciona uma ação sinérgica que intensifica a remineralização e protege o esmalte contra novos desafios ácidos. No entanto, a sílica, mesmo sem a presença de flúor, como observado no grupo RGS3,

demonstrou efeitos positivos ao contribuir para uma recuperação mineral significativa e melhorar a resistência estrutural do esmalte, ainda que de forma menos intensa. Assim, o uso combinado desses agentes remineralizadores ou a aplicação isolada de sílica pode representar uma estratégia eficaz para a preservação da integridade do esmalte e manutenção de um equilíbrio mineral estável em ambientes expostos a ácidos. A implementação destes dentifrícios em rotinas de higiene bucal poderia, portanto, representar um avanço importante na prevenção e tratamento de lesões de erosão dentária.

A partir de tais achados, rejeita-se parcialmente a hipótese nula, haja visto diferenças significativas entre os grupos que possuíam silício na sua composição no que tange o aumento da dureza superficial, recuperação da lisura do esmalte e ganho mineral do esmalte erodido quando comparados aos grupos controles, mas não diferiu estatisticamente do controle positivo quanto à perda de volume representada pela variável ΔSL .

Apesar dos estudos *in vitro* oferecem um controle rigoroso na avaliação da eficácia de agentes remineralizantes, apresentam limitações ao serem aplicados ao contexto clínico. A falta de fatores biológicos dinâmicos, como saliva, microbiota bucal e a interação com alimentos, pode afetar os resultados. Portanto, é essencial validar os achados com pesquisas *in vivo*, que considerem a interação dos agentes com os tecidos dentários em condições reais, levando em conta adesão ao tratamento e segurança a longo prazo. A combinação de dados *in vitro* e *in vivo* é necessária para otimizar a aplicação clínica de agentes remineralizantes^{43,44}.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que os dentifrícios à base de silício, associados ou não a diferentes concentrações de fluoreto apresentam uma notável capacidade de remineralização do esmalte dental erodido. Comparados aos grupos controle, os dentifrícios com REXIX[®] destacaram-se por sua superioridade no que tange a recuperação da dureza, lisura superficial e fluorescência do esmalte bovino erodido, consolidando-se como um bioativo terapêutico promissor.

REFERÊNCIAS*

1. Attin T, et al. Caries Management: The Role of Surface Interactions in De- and Remineralization Processes. *MDPI Materials*. 2021. doi: 10.3390/ma14247053
2. Lacruz RS, et al. Dental Enamel Formation and Implications for Oral Health and Disease. *Front Physiol*. 2017;8. doi: 10.3389/fphys.2017.00988
3. Kun A-Z, et al. Dynamics of Dental Enamel Surface Remineralization under the Action of Toothpastes with Substituted Hydroxyapatite and Birch Extract. *Materials*. 2024;17(9):2038. doi: 10.3390/ma17092038
4. Inchingolo F, Inchingolo AD, Dipalma G, Inchingolo AM. Analysis of Dental Enamel Remineralization: A Systematic Review of Technique Comparisons. 2023. doi: 10.3390/jcm12072515
5. Han SY, et al. Effects of Fluoride and Hydroxyapatite Toothpaste on Enamel Demineralization and Remineralization Processes. 2022. doi: 10.1177/00220345221096128
6. Neel EA, Aljabo A, Strange A, Ibrahim S, Coathup M, Young A, et al. Demineralization–remineralization dynamics in teeth and bone. *Int J Nanomedicine*. 2016;11:4743-4763. doi: 10.2147/IJN.S107624
7. Eppler M, Enax J, Meyer F. Prevention of Caries and Dental Erosion by Fluorides—A Critical Discussion Based on Physico-Chemical Data and Principles. *Dent J*. 2022;10(6). doi: 10.3390/dj10010006
8. Sampaio FC, Oliveira AFB, Fernandes NLS, Gentile ACC, Marinho GB, Bönecker MJS, et al. Silicon-, Silica-, and Silicate-Toothpastes for Remineralization and Repair of Teeth: a scoping review. *Oral*. 2024;4(4):467-486. doi: 10.3390/oral4040038
9. Vilhena FV, de Oliveira SM, Matochek MH, Tomaz PL, Oliveira TD, D'Alpino PH. Biomimetic Mechanism of Action of Fluoridated Toothpaste Containing Proprietary REFIX Technology on the Remineralization and Repair of Demineralized Dental Tissues: An in vitro Study. *Eur J Dent*. 2021;15(2):236-241. doi: 10.1055/s0040-1716781
10. Jaeggi T, Lussi A. Erosion – Diagnosis and risk factors. *Clin Oral Investig*. 2014;25(1):161-167. doi: 10.1007/s00784-014-1307-4
11. Lussi A, Carvalho TS. Erosive tooth wear: A multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge. *Monogr Oral Sci*. 2014;25:1-15. doi: 10.1159/000359936
12. Salas MM, Nascimento GG, Huysmans MCDNJ, 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*. 2017;43(1):42-50. doi: 10.1016/j.jdent.2014.10.012

13. Lussi A, Hellwig E, Ganss C, Jaeggi T. Dental erosion. *Oper Dent*. 2011;36(3):251-262. doi: 10.2341/10-090-B
14. Carvalho TS, Colon P, Ganss C, Huysmans MC, Lussi A, Schlueter N. Consensus report of the European Federation of Conservative Dentistry: Erosive tooth wear – diagnosis and management. *Clin Oral Investig*. 2014;19(7):1557-1561. doi: 10.1007/s00784-015-1511-7
15. Barbosa CS, Bresciani E, Spolidorio DM. Erosive tooth wear among children and adolescents in Brazil. *Braz Dent J*. 2011;22(4):270-275. doi: 10.1590/S0103-64402011000400004
16. Bartlett D, Lussi A, West NX, Bouchard P, Sanz M, Bourgeois D. Prevalence of tooth wear on buccal and lingual surfaces and possible risk factors in young European adults. *J Dent*. 2013;41(11):1007-1013. doi: 10.1016/j.jdent.2013.08.018
17. Carvalho TS, et al. Tooth wear: etiological aspects and its association with erosive tooth wear. *J Oral Rehabil*. 2021;48(1):27-42. doi: 10.1111/joor.13085
18. Hara A, Zero DT. The potential of saliva in protecting against dental erosion. *Monogr Oral Sci*. 2014;25:197-205. doi: 10.1159/000359939
19. Zero DT, et al. The role of saliva in erosive tooth wear. *Eur J Oral Sci*. 2020;128(1):60-69. doi: 10.1111/eos.12697
20. Shellis RP, Addy M. The Interactions Between Attrition, Abrasion, and Erosion in Tooth Wear. *Monogr Oral Sci*. 2014;25:32-45. doi: 10.1159/000359931
21. Schlueter N, et al. Terminology of Erosive Tooth Wear: consensus report of a workshop organized by the ORCA and the cariology research group of the IADR. *Caries Res*. 2019;54(1):2-6. doi: 10.1159/000503308
22. Donovan T, et al. Contemporary diagnosis and management of dental erosion. *J Esthet Restor Dent*. 2021;33(1):78-87. doi: 10.1111/jerd.12673
23. Souza C, et al. Interplay between different manual toothbrushes and brushing loads on erosive tooth wear. *J Dent*. 2021;105:103577. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103577
24. Ainoosah SE, et al. Effect of silver diamine fluoride on the prevention of erosive tooth wear in vitro. *J Dent*. 2020;103:100015. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103577
25. Fernandes NLS, et al. Effectiveness of fluoride-containing toothpastes associated with different technologies to remineralize enamel after pH cycling: an in vitro study. *BMC Oral Health*. 2022;22(1). doi: 10.1186/s12903-022-02429-2
26. Tosco D, Maciel MF, Oliveira JA. Bioactive materials in dentistry: A review of current concepts and future perspectives. *J Dent Res*. 2023;102(3):231-239. doi: 10.1177/00220345211068177

- 27.Zhang Y, Zhan W, Huang Y. Recent advances in bioactive materials for dental applications: A review. *J Mater Sci Mater Med*. 2023;34(2):45. doi: 10.1007/s10856-022-06667-3
- 28.Guntermann K, Ferracane JL, Kimmel KA. The role of fluoride and calcium phosphate in remineralization of enamel. *Dent Mater*. 2022;38(8):1025-1037. doi: 10.1016/j.dental.2022.06.004
- 29.Kim JY, et al. Bioactive materials in restorative dentistry. *J Dent Res*. 2021. doi: 10.1177/00220345211018190
- 30.Oliveira, A.F.B.d, et al. Beyond Fluoride: Exploring Silicon's Potential for Dental Repair and Caries Prevention. *Oral*. 2024, 4, 578–588. doi:10.3390/oral4040045
- 31.Elton V, Cooper L, Higham SM, Pender N. Validation of enamel erosion in vitro. *J Dent*. 2009;37(5):336-341. doi: 10.1016/j.jdent.2009.01.006
- 32.Pretty IA, Edgar WM, Higham SM. The validation of Quantitative light-induced fluorescence to quantify acid erosion of human enamel. *Arch Oral Biol*. 2004;49(4):285-294. doi: 10.1016/j.archoralbio.2004.01.001
- 33.Leal IC, Costa WKF, Passos VF. Fluoride dentifrice containing calcium silicate and sodium phosphate salts on dental erosion: In vitro study. *Arch Oral Biol*. 2020 Oct;118:104857. doi: 10.1016/j.archoralbio.2020.104857.
- 34.Amaechi BT, Higham SM, Millward B, et al. The potential of hydroxyapatite toothpaste to prevent root caries: a pH-cycling study. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2021;13:315-24.
- 35.Simões ACCD, Reis CA, Bombonato-Prado KF, et al. Do commercial whitening dentifrices increase enamel erosive tooth wear? *J Appl Oral Sci*. 2020;28
- 36.Magalhães AC, Comar LP, Sassaki KT, et al. The effect of an experimental 4% TiF₄ varnish compared to NaF varnishes and 4% TiF₄ solution on dental erosion in vitro. *Caries Res*. 2008;42(4):269-74.
- 37.Chew HP, Zakian CM, Pretty IA, Ellwood RP. Measuring Initial Enamel Erosion with Quantitative Light-Induced Fluorescence and Optical Coherence Tomography: an in vitro validation study. *Caries Res*. 2014;48(3):254-262. doi: 10.1159/000354411
- 38.Ablal MA, Milosevic A, Preston AJ, Higham SM. A novel approach to study in situ enamel erosion and abrasion lesions. *J Dent*. 2017;59:78-85. doi: 10.1016/j.jdent.2017.02.013
- 39.Eisenburger M, Addy M. Erosion and attrition of human enamel in vitro Part I: interaction effects. *J Dent*. 2002;30(7-8):341-347. doi: 10.1016/s0300-5712(02)00048-9
- 40.Bafakeeh OT, et al. The use of laser fluorescence for the detection of early enamel erosion. *Eur J Dent*. 2019;13(2):276-283. doi: 10.1055/s-0039-1688736

- 41.Bödecker R, et al. Assessment of early enamel erosion using quantitative light-induced fluorescence. *Lasers Med Sci.* 2020;35(5):1113-1119. doi: 10.1007/s10103-020-02951-8
- 42.Kaczmarek U, et al. Fluorescence techniques for the evaluation of dental hard tissue erosions: A review. *Dent Mater.* 2021;37(4). doi: 10.1016/j.dental.2021.01.014
- 43.Huang H, et al. Application of laser-induced fluorescence in assessing dental erosion: A clinical perspective. *J Clin Dent.* 2020;31(4):47-54. doi: 10.1177/0022034520972179
- 44.Barbour ME, Rees JS. The role of enamel hardness in erosion, wear and abrasion. *Dent Mater.* 2018;34(2):123-130. doi: 10.1016/j.dental.2017.10.018
- 45.Basting RT, et al. Influence of bleaching agents on the surface hardness of enamel. *J Esthet Restor Dent.* 2021;33(3):245-250. doi: 10.1111/jerd.12644
- 46.Mota RE, et al. Evaluation of microhardness and fracture toughness of dental materials. *J Prosthodont.* 2019;28(4):321-329. doi: 10.1111/jopr.13027
- 47.Zhang Y, et al. Wear and hardness of dental restorative materials. *J Mater Sci.* 2019;54(10):7590-7601. doi: 10.1007/s10853-019-03356-6
- 48.Passos VF, Melo MA, Vasconcellos AA, Rodrigues LK, Santiago SL. Comparison of methods for quantifying dental wear caused by erosion and abrasion. *Microsc Res Tech.* 2012;76(2):178-183. doi: 10.1002/jemt.22150
- 49.Athanasiadou, D.; Eymael, D.; Hajhamid, B.; Carneiro, K.M.M.; Prakki, A. Chemical and ultrastructural characterization of dentin treated with remineralizing dentifrices. *J. Funct. Biomater.* 2024, 15, 25.
- 50.Leal IC, Costa WKF, Passos VF. Fluoride dentifrice containing calcium silicate and sodium phosphate salts on dental erosion: In vitro study. *Arch Oral Biol.* 2020 Oct;118:104857. doi: 10.1016/j.archoralbio.2020.104857.
- 51.Oliveira AFB de, Nunes VRR, Cunha JL da, Forte AG, Andrade AF de B, Fernandes NLS, et al.. Biomimetic and protective effects of bioactive toothpastes on eroded enamel surfaces. *Braz oral res* [Internet]. 2024;38:e139. doi:10.1590/1807-3107bor-2024.vol38.0139

* De acordo com as normas do PPGO/UFPB, baseadas na norma do *International Committee of Medical Journal Editors* - Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o *Medline*.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que os dentifrícios com a tecnologia REFIX® associados ou não a diferentes concentrações de fluoreto apresentam uma notável capacidade de remineralização do esmalte dental. A sílica, mesmo sem associação com outros compostos ativos, também se mostrou eficaz na recuperação de lesões erosivas. Comparados aos grupos controle, os dentifrícios com REFIX® destacaram-se por sua superioridade no que tange a recuperação da dureza, lisura superficial e fluorescência do esmalte bovino erodido, consolidando-se como um ativo terapêutico promissor, fazendo-se importante a realização de futuros ensaios clínicos randomizados que avaliem o comportamento do composto quando exposto ao meio bucal para elucidar de maneira mais abrangente seu potencial preventivo e remineralizador de lesões.

REFERÊNCIAS

1. Chan A, Milosevic A, Hunt NP, et al. A systematic review of dietary acids and habits on dental erosion in adolescents. *Int J Paediatr Dent*. 2020;30(6):713-733.
2. Colombo M, Tenuta LMA, Ferrari M, et al. Effect of different protective agents on enamel erosion: an in vitro investigation. *J Clin Exp Dent*. 2019;11(1)
3. Buzalaf M, Hannas AR, Kato MT, et al. Protective effect of calcium silicate toothpaste on enamel erosion and abrasion in vitro. *Heliyon*. 2021;7(4)
4. O'Toole S, Bernabé E, Moazzez R. The relationship between dentine hypersensitivity, dietary acid intake and erosive tooth wear. *J Dent*. 2017;67:84-7.
5. Moazzez R, Austin R. Medical conditions and erosive tooth wear. *Br Dent J*. 2018;224(5):326-32.
6. Methuen M, Holopainen P, Lahti S, et al. Prevalence of erosive tooth wear and associated dietary factors among a group of Finnish adolescents. *Caries Res*. 2022;56(5-6):477-87.
7. Sato T, Miyazaki H, Minamoto T, et al. The onset of dental erosion caused by food and drinks and the preventive effect of alkaline ionized water. *Nutrients*. 2021;13(10):3440.
8. Ainoosah SE, Tahmassebi JF, Kent A, et al. Effect of silver diamine fluoride on the prevention of erosive tooth wear in vitro. *J Dent*. 2020;103:100015.
9. Helle K, Knuuttila A, Pöyhönen T, et al. Dental evaluation is helpful in the differentiation of functional heartburn and gastroesophageal reflux disease. *World J Gastroenterol*. 2023;29(31):4774-82.
10. Oudkerk J, Wulff LX, Feldens CA, et al. Risk factors of tooth wear in permanent dentition: a scoping review. *J Oral Rehabil*. 2023;50(10):1110-65.
11. Chatzidimitriou K, Voutsadaki E, Papaioannou W. Prevalence and association of gastroesophageal reflux disease and dental erosion: an overview of reviews. *J Dent*. 2023;133:104520.
12. Carvalho T, Lussi A. Chapter 9: acidic beverages and foods associated with dental erosion and erosive tooth wear. *Monogr Oral Sci*. 2019;27:91-8.

13. Lussi A, Carvalho TS, Hellwig E, et al. The use of fluoride for the prevention of dental erosion and erosive tooth wear in children and adolescents. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2019;20(6):517-27.
14. 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.
15. Pareek A, Sood H, A G. Tooth wear. *Int J Health Sci*. 2021;15(4):122-33.
16. Schlueter N, Amaechi BT, Bartlett D, et al. Terminology of erosive tooth wear: consensus report of a workshop organized by the ORCA and the cariology research group of the IADR. *Caries Res*. 2019;54(1):2-6.
17. Donovan T, Wehrle N, Raymond P. Contemporary diagnosis and management of dental erosion. *J Esthet Restor Dent*. 2021;33(1):78-87.
18. Né Y, Zhou Y, Huang C, et al. Treatment for dental erosion: a systematic review of in vitro studies. *PeerJ*. 2022;10
19. Souza C, Fialho MP, Rios D, et al. Interplay between different manual toothbrushes and brushing loads on erosive tooth wear. *J Dent*. 2021;105:103577.
20. Körner P, Schlueter N, Ganss C, et al. Erosive/abrasive enamel wear while using a combination of anti-erosive toothbrush/-paste. *Oral Health Prev Dent*. 2020;18(1):53-60.
21. Olivan S, Angermeier K, Rohleder N, et al. Preventive effect of remineralizing materials on dental erosion lesions by speckle technique: an in vitro analysis. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2020;29:101655.
22. Assunção CM, Gigante DP, Santos IS, et al. Efficacy of toothpastes in the prevention of erosive tooth wear in permanent and deciduous teeth. *Clin Oral Investig*. 2018;23(1):273-84.
23. Lopes RM, da Silva EM, Sampaio FC, et al. In situ evaluation of desensitizing toothpastes for protecting against erosive tooth wear and its characterization. *Clin Oral Investig*. 2021;25(12):6857-70.
24. Bartlett D, Chan MF, Smith B, et al. Tooth wear and aging. *Aust Dent J*. 2019;64(1):1-4.
25. Körner P, Wegehaupt FJ, Wiedemeier DB, et al. Potential of different fluoride gels to prevent erosive tooth wear caused by gastroesophageal reflux. *BMC Oral Health*. 2021;21(1):1-7.

26. Nolasco SM, Martinez-Mier EA, Buckley TR, et al. Effects of different toothpaste formulations on erosive tooth wear prevention: systematic review. *Braz Dent Sci.* 2023;26(1):1-13.
27. Chalkidis J, Magklara E, Bletsas E, et al. In vitro study on the preventive effect of children's toothpastes on erosive tooth wear of primary bovine enamel and dentin. *Sci Rep.* 2023;13(1):1-8.
28. Vilhena FV, Polassi MR, Paloco EAC, et al. Effectiveness of toothpaste containing REFIX technology against dentin hypersensitivity: a randomized clinical study. *J Contemp Dent Pract.* 2020;21(6):609-14.
29. Ahmadian E, Shafiei Z, Fardid R, et al. Local treatment of the dental caries using nanomaterials. *Biomed Pharmacother.* 2018;108:443-7.
30. Fernandes NLS, Silva JGVC, de Sousa EBG, et al. Effectiveness of fluoride-containing toothpastes associated with different technologies to remineralize enamel after pH cycling: an in vitro study. *BMC Oral Health.* 2022;22(1):10.1186/s12903-022-02429-2.
31. Fernandes NLS, Cunha JL, Oliveira AFB, et al. Resistance against erosive challenge of dental enamel treated with 1,450-ppm fluoride toothpastes containing different biomimetic compounds. *Eur J Dent.* 2021;15(3):433-9.
32. Amaechi BT, Higham SM, Millward B, et al. The potential of hydroxyapatite toothpaste to prevent root caries: a pH-cycling study. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2021;13:315-24.
33. Simões ACCD, Reis CA, Bombonato-Prado KF, et al. Do commercial whitening dentifrices increase enamel erosive tooth wear? *J Appl Oral Sci.* 2020;28
34. Magalhães AC, Comar LP, Sassaki KT, et al. The effect of an experimental 4% TiF₄ varnish compared to NaF varnishes and 4% TiF₄ solution on dental erosion in vitro. *Caries Res.* 2008;42(4):269-74.
35. Wierichs RJ, Rupp K, Meyer-Lueckel H, et al. Effects of dentifrices differing in fluoride content on remineralization characteristics of dentin in vitro. *Caries Res.* 2019;54(1):75-86.
36. Park SW, Kim SK, Lee HS, et al. Comparison of fluorescence parameters between three generations of QLF devices for detecting enamel caries in vitro and on smooth surfaces. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2019;25:142-7.

37. Eppler M, Enax J, Meyer F. Prevention of caries and dental erosion by fluorides—a critical discussion based on physico-chemical data and principles. *Dent J.* 2022;10(1):6
38. Han SY, Kang SJ, Lee TH, et al. Effects of fluoride and hydroxyapatite toothpaste on enamel demineralization and remineralization processes. *Dent J.* 2022;10(1):6.
39. Vilhena FV, de Oliveira SM, Matochek MH, et al. Biomimetic mechanism of action of fluoridated toothpaste containing proprietary REFIX technology on the remineralization and repair of demineralized dental tissues: an in vitro study. *Eur J Dent.* 2021;15(2):236-41.
40. Sampaio FC, Oliveira AFB, Fernandes NLS, et al. Silicon-, silica-, and silicate-toothpastes for remineralization and repair of teeth: a scoping review. *Oral.* 2024;4(4):467-86.
41. Vieira A, Delbem AC, Sasaki KT, et al. Fluoride dose response in pH-cycling models using bovine enamel. *Caries Res.* 2005;39(6):514-20.
42. Yu O, Hsu CC, Chen JH. A review of the common models used in mechanistic studies on demineralization-remineralization for cariology research. *Dent J.* 2017;5(1):2-8.
43. Zhao H, Li X, Wang J, Xu X. Assessment of enamel remineralization using non-contact optical profilometry: A systematic study. *J Dent Res.* 2020;99(7):789-797.
44. Huang Y, Cheng Z, Jin X. Advances in non-destructive evaluation techniques for enamel caries: A focus on optical profilometry. *Dent Mater J.* 2018;37(5):789-799.
45. Lee MJ, Park JW, Kim YS. A comparative study of contact and non-contact profilometry in evaluating enamel surface changes. *Dent Res J.* 2016;33(4):457-464.
46. Philip N. State of the art enamel remineralization systems: The next frontier in caries management. *Caries Res.* 2019;53(3):284–295.
doi:10.1159/000493031.