

**Universidade de Brasília – UnB**  
**Faculdade de Ciências da Saúde**  
**Programa de Pós-Graduação em Odontologia**



**Universidade de Brasília**

Dissertação de Mestrado

**Influência dos parâmetros cinéticos utilizados em ensaios de abrasão simulada no  
desgaste da dentina**

**Amanda Tauchen Filgueiras**

Brasília - 2025

**Amanda Tauchen Filgueiras**

**Influência dos parâmetros cinéticos utilizados em ensaios de abrasão simulada no  
desgaste da dentina**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Orientadora: Profa. Dra. Rayssa Ferreira Zanatta

Co-Orientador: Prof. Thiago de Carvalho Rodrigues Doca

Brasília, 2025

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Fi Filgueiras, Amanda Tauchen  
Influência dos parâmetros cinéticos utilizados em ensaios  
de abrasão simulada no desgaste da dentina / Amanda Tauchen  
Filgueiras; orientador Rayssa Ferreira Zanatta;  
co-orientador Thiago de Carvalho Rodrigues Doca. Brasília,  
2025.  
82 p.

Dissertação(Mestrado em Odontologia) Universidade de  
Brasília, 2025.

1. Abrasão Dentária. 2. Desgaste Dentário. 3.  
Dentifrício. 4. Dentina. I. Zanatta, Rayssa Ferreira,  
orient. II. Doca, Thiago de Carvalho Rodrigues, co-orient.  
III. Título.

**Amanda Tauchen Filgueiras**

**Influência de parâmetros cinéticos utilizados em testes experimentais de desgaste  
abrasivo em dentina**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Odontologia, Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

Data da defesa: 22/07/2025

Banca examinadora:

---

Profa. Dra. Rayssa Ferreira Zanatta (Presidente)

---

Prof. Dr. Leandro Augusto Hilgert (membro interno)

---

Profa. Dra. Gisele Rodrigues da Silva (membro externo)

---

Profa. Dra. Bruna Genari (membro suplente)

*Dedico este trabalho a Deus, por ser o alicerce da minha vida e por me sustentar com força,  
coragem e fé durante toda esta caminhada.*

*A Ele, toda a honra, toda a glória e todo o louvor.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, o Senhor da minha vida, toda a minha gratidão. Foi Ele quem me sustentou em cada momento de incerteza, me concedeu forças e renovou minha perseverança quando a caminhada parecia difícil. Em todos os dias, pude sentir Sua presença e direção. Como está escrito em Josué 1:9: *“Seja forte e corajoso! Não tenha medo, nem fique desanimado, pois o Senhor, seu Deus, estará com você por onde quer que você andar.”* Esta conquista é, antes de tudo, d’Ele, e sou imensamente grata por ter tido fé para continuar e sabedoria para confiar.

À minha família, Eduardo Quesado Filgueiras, Janaina Tauchen Quesado Filgueiras e Gabriel Tauchen Filgueiras, meu porto seguro e minha base inabalável, meu mais sincero e emocionado agradecimento. Em todas as etapas desta jornada estiveram comigo com amor, apoio e paciência. Sinto-me profundamente feliz em poder retribuir, com esta conquista, um pouco de tudo que recebi. Esta dissertação também é de vocês. Obrigada por acreditarem em mim quando eu mesma duvidei. Um agradecimento especial também ao meu gatinho, Bejamin, meu parceirinho felino que não me deixou sozinha em muitas madrugadas estudando e escrevendo para a conclusão deste projeto (mesmo que você tenha dormido pela maior parte do tempo, hahaha).

À minha querida amiga da pós-graduação, Larissa Meireles, meu carinho eterno. Entre relatórios, artigos, ensaios e análises estatísticas, você foi o alívio necessário. Os cafezinhos compartilhados, os momentos de descontração, as conversas sinceras e, principalmente, o apoio mútuo em cada dificuldade, tornaram essa caminhada mais leve e significativa. Foi uma alegria dividir esta etapa com você, crescemos juntas, aprendemos juntas e, sobretudo, rimos juntas. Que venham muitas outras conquistas para celebrarmos lado a lado.

À minha amiga especial, presente de Deus, Melissa Ballier, conhecer você tanto no mestrado acadêmico na UnB quanto na Igreja Batista do Lago foi uma benção. Sua amizade é uma preciosidade que excede o valor de tesouros, você torna verdadeiro o versículo encontrado em provérbios 18:24: *“o verdadeiro amigo é mais próximo que um irmão”*. Obrigada por tudo amiga, pelas orações, pelos momentos de alegria e, principalmente, por ser esse exemplo de força e resiliência.

À Marcilene, técnica do laboratório, salvadora da pátria, deixo um agradecimento especial com afeto e admiração. Você foi um verdadeiro anjo enviado por Deus no meu

percurso acadêmico. Sempre cuidadosa, gentil e extremamente prestativa, você tornou o ambiente de pesquisa mais humano e acolhedor. Sua disposição incansável em ajudar e sua maneira carinhosa de lidar com todos deixaram marcas profundas em minha trajetória. Obrigada por ser tão essencial e tão luz em tantos momentos.

Ao Laboratório de Dentística e Materiais Dentários da Faculdade de Ciências da Saúde e ao Laboratório Confocal do SG9 e, especialmente à Universidade de Brasília, registro minha sincera gratidão pelo suporte estrutural, técnico e humano oferecido durante toda a realização deste projeto. A disponibilidade de equipamentos, o acesso aos espaços e a atenção dedicada pelas equipes foram fundamentais para que cada etapa experimental fosse possível. Esses ambientes foram mais do que espaços de trabalho, foram cenários de descobertas e crescimento. Agradeço também ao apoio do Programa de Pós-Graduação em Odontologia (PPGODT) pelos auxílios concedidos para a pesquisa e à bolsa de estudos concedida pelo DPG-UnB durante este período como aluna do mestrado acadêmico com dedicação exclusiva.

Gostaria de agradecer também à empresa júnior ESTAT, composta pelos alunos de graduação do curso de Estatística da UnB (Universidade de Brasília), Bruno Boaventura, Enrique Itevan, Felipe Bretas, Francisco Ítalo e Victor Hott, pela ajuda na análise de dados e implementação dos testes estatísticos. A prontidão, organização e disposição de vocês foram um auxílio importante nas conclusões deste estudo.

Ao Prof. Dr. Thiago Doca, meu coorientador, agradeço com respeito e admiração. Sua orientação meticulosa e sua capacidade de aliar profundidade teórica à prática metodológica foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Com você aprendi a valorizar a multidisciplinaridade e a transitar com mais segurança por diferentes áreas do conhecimento. Sua presença constante, sua paciência em responder dúvidas e sua dedicação como educador foram determinantes para meu amadurecimento como pesquisadora.

Por fim, à minha orientadora querida, Profa. Dra. Rayssa Ferreira Zanatta, minha inspiração em tantos níveis, expresso minha mais profunda gratidão. Você é, para mim, a representação de uma profissional completa: cirurgiã-dentista exemplar, pesquisadora brilhante e ser humano admirável. Com sua orientação, aprendi a ser mais ambiciosa, mais confiante e mais independente, como uma verdadeira aluna da sonserina misturada com lufa-lufa no universo de Harry Potter. Obrigada por me oferecer oportunidades que me desafiaram e

contribuíram tanto para meu crescimento como pesquisadora, por me incentivar a sonhar mais alto e por me puxar para voos que eu mesma não imaginava alcançar. Sua influência estará para sempre presente na profissional que me tornei e na mulher que continuo me esforçando para ser.

*"O Senhor diz: — Eu o guiarei pelo melhor caminho para sua vida, lhe darei conselhos e cuidarei de você."*

*Salmos 32:8*

## RESUMO

A técnica de escovação é considerada um dos hábitos essenciais na boa prática da higiene oral, fundamental na desorganização do biofilme e remoção de restos alimentares. No entanto, também é conhecido seu potencial abrasivo advindo dos movimentos mecânicos, os quais podem ser agravados de acordo com o tipo de cerdas da escova, a frequência da escovação e a amplitude dos movimentos. Em estudos laboratoriais, os eventos abrasivos são reproduzidos utilizando aparato experimental que replica o mecanismo envolvido na ação da escovação. A literatura ainda não consolidou uma metodologia acerca de ensaios de abrasão via escovação simulada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes parâmetros (amplitude, frequência e posição da escova) na mecânica da simulação de escovação/abrasão, observando suas consequências na perda de superfície e na rugosidade superficial. Para tal, este texto traz no capítulo 1 uma revisão sobre o mecanismo de desgaste por abrasão, seu impacto sobre os tecidos dentais e uma breve revisão acerca dos mais diversos parâmetros cinéticos adotados em testes de abrasão simulada. Nele, é discutido que a ausência de um protocolo bem estabelecido, reprodutível e livre de fatores que enviesem os resultados dificulta a comparação entre estudos, sendo, portanto, importante uma metodologia bem fundamentada e com resultados confiáveis para quantificação do desgaste. No segundo capítulo é apresentado um estudo laboratorial avaliando o efeito de parâmetros cinéticos em teste de abrasão por movimento recíprocante no desgaste da dentina. Amostras de dentina bovina foram preparadas e polidas, e submetidas a teste de abrasão em máquina de escovação considerando dos seguintes parâmetros: frequência (1Hz e 2 Hz), amplitude (10 mm e 20 mm), e posição da amostra em relação ao centro da cabeça da escova (a frente, alinhado e atrás). Foi realizado 20 mil ciclos abrasivos, com uma suspensão padrão (dentifício – saliva artificial, proporção 1:3), sendo mensurado a perda de estrutura e a rugosidade superficial (Ra) após 5 mil, 10 mil e 20 mil ciclos. A análise estatística foi feita por meio do teste de Kruskal Wallis seguido de teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner ( $\alpha=0.05$ ), com significância de 95%. Observou-se que a amplitude de escovação foi o parâmetro com maior influência sobre o desgaste dentinário, apresentando diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,001$ ) em todos os momentos analisados. A posição da amostra também demonstrou impacto relevante em condições específicas, especialmente nos grupos com amplitude de 20 mm, sendo a posição centralizada (posição 3) a que mais concentrou valores elevados de perda de estrutura. Já a frequência de escovação, por si só, não apresentou efeito estatisticamente significativo sobre o desgaste ( $p = 0,166$ ). O aumento do número de ciclos

também levou a um incremento progressivo e significativo nos valores de desgaste em todos os grupos. Concluiu-se que a amplitude de escovação é um fator determinante na intensidade do desgaste da dentina, e sua padronização se mostra essencial em ensaios de abrasão. A posição da amostra também influencia os resultados, sobretudo quando associada a amplitudes maiores. A frequência, embora tradicionalmente considerada relevante, não apresentou impacto isolado significativo neste estudo. Os achados reforçam a necessidade de controle rigoroso dos parâmetros cinéticos em modelos experimentais, visando maior reprodutibilidade e validade comparativa entre investigações sobre desgaste abrasivo de tecidos dentais.

**Palavras Chave:** Abrasão Dentária, Desgaste Dentário, Dentifrício, Dentina.

## ABSTRACT

Toothbrushing is considered one of the essential habits for maintaining good oral hygiene, being fundamental for biofilm disruption and the removal of food debris. However, its abrasive potential resulting from mechanical movement is also well known, and may be exacerbated depending on the type of bristles, brushing frequency, and amplitude of the movements. In laboratory studies, abrasive events are reproduced using experimental devices that simulate the mechanisms involved in toothbrushing. To date, the literature has not established a standardized methodology for abrasion testing using simulated brushing. The objective of this study was to evaluate the influence of different parameters (amplitude, frequency, and brush position) on the mechanics of toothbrushing/abrasion simulation, and to observe their consequences on surface loss and surface roughness. Chapter 1 provides a review of the abrasion wear mechanism, its impact on dental tissues, and a brief overview of the various kinetic parameters adopted in simulated abrasion tests. It discusses how the absence of a well-established, reproducible protocol—free from confounding factors—makes it difficult to compare results across studies. Therefore, a well-founded methodology with reliable results is crucial for accurate wear quantification. Chapter 2 presents a laboratory study assessing the effect of kinetic parameters on dentin wear using an abrasion test based on reciprocating movement. Bovine dentin samples were prepared and polished, then subjected to brushing abrasion testing using the following parameters: frequency (1 Hz and 2 Hz), amplitude (10 mm and 20 mm), and sample position relative to the center of the toothbrush head (in front, aligned, and behind). A total of 20,000 brushing cycles were performed using a standardized slurry (toothpaste and artificial saliva in a 1:3 ratio). Surface loss and roughness (Ra) were measured after 5,000, 10,000, and 20,000 cycles. Statistical analysis was conducted using the Kruskal-Wallis test followed by the Dwass-Steel-Critchlow-Fligner test ( $\alpha = 0.05$ ), with a significance level of 95%. The results showed that brushing amplitude was the parameter with the greatest influence on dentin wear, presenting statistically significant differences ( $p < 0.001$ ) at all time points analyzed. The sample position also showed a relevant impact under specific conditions, particularly in the 20 mm amplitude groups, with the centralized position (position 3) showing the highest values of structural loss. In contrast, brushing frequency alone did not have a statistically significant effect on wear ( $p = 0.166$ ). Additionally, increasing the number of brushing cycles resulted in a progressive and significant increase in wear across all groups. It was concluded that brushing amplitude is a determining factor in the intensity of dentin wear, and its standardization is

essential in abrasion testing. Sample positioning also influences the results, especially when associated with greater amplitudes. Frequency, although traditionally considered relevant, did not have a significant isolated impact in this study. These findings reinforce the need for strict control of kinetic parameters in experimental models to ensure greater reproducibility and comparability among investigations focused on abrasive wear of dental tissues.

**Keywords:** Dental Abrasion, Tooth Wear, Dentifrice, Dentin.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - - Organização dos Grupos .....	45
Tabela 2 - Peso e Variação do conjunto: escova e “grip”. .....	51
Tabela 3 -Composição do dentifrício utilizado no estudo - Colgate Tripla Ação (Colgate)....	52
Tabela 4 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 5 mil ciclos .....	58
Tabela 5 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 10 mil ciclos .....	58
Tabela 6 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 20 mil ciclos .....	59
Tabela 7 - Média e Desvio padrão para os grupos considerando a avaliação da influência da posição da amostra.....	61
Tabela 8 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 5 mil ciclos .....	64
Tabela 9 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 10 mil ciclos .....	64
Tabela 10 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 20 mil ciclos .....	65
Tabela 11 - – Média e Desvio padrão para os grupos considerando a avaliação da influência da posição da amostra.....	67

## LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Esquema adaptado de John M. Powers et. al. "Wear of Fluorapatite Single Crystals: III. Classification of Surface Failure" (1972), mostrando a escala de classificação das falhas de superfície observadas em testes de deslizamento sobre cristais de fluorapatita, usada como modelo para o esmalte dentário..... 27
- Figura 2 - Dente bovino com marcações quadrangulares na porção radicular em grafite de uma lapiseira mensurando 4 mm x 4 mm. A região escolhida para extração das amostras de dentina foi a cervical na porção vestibular, porção direita e porção esquerda. .... 43
- Figura 3 - Molde confeccionado em material de silicone de adição, utilizado para a fabricação das amostras. Este item auxiliou no embutimento dos fragmentos quadrangulares de tecido dentinário em RAAQ..... 44
- Figura 4 - Receptáculos fabricados em material sintético de PLA. Dois receptáculos diferentes foram confeccionados buscando avaliar a influência da posição da amostra frente à escova de dente durante o ensaio de abrasão. O receptáculo do tipo duplo permitiu o encaixe de 2 amostras em seus dois nichos, assim, sendo possível escovar duas amostras simultaneamente em uma posição posterior (posição 1) e anterior (posição 2) à escova de dente. Já o receptáculo do tipo único permitiu o encaixe de somente uma amostra em seu nicho único em uma posição centralizada (posição 3) relativa ao centro geométrico da cabeça da escova de dente. .... 45
- Figura 5 - Escovas de dente MedFio devidamente enumeradas e com três marcações definidas. Uma marcação no centro geométrico da cabeça da escova para delimitar o posicionamento centralizado em relação à superfície das amostras. Enquanto as outras duas demarcações na haste sinalizavam a posição definida para o rosqueamento das escovas de dente nas estações do simulador de ensaio abrasivo..... 46
- Figura 6 – A) Cabeça da escova nova, mostrando a distribuição dos tufo de cerdas. B) Escova nova posicionada sobre o dispositivo, mostrando o posicionamento das cerdas perpendicular à área de escovação e em C) a mesma situação com a força peso do braço mecânico de escovação mostrando a leve flexão e deformação das cerdas sobre as amostras. D) Cabeça da escova após 20 mil ciclos de escovação mostrando leve desgaste das cerdas. E e F mostram a mesma situação apresentada em A e B, respectivamente, com a escova após os 20 mil ciclos de escovação... 47
- Figura 7 - Posicionamento dos dispositivos sobre a base magnética da máquina de simulação de escovação a 1 mm da régua. O esquadro auxiliou no alinhamento e correto posicionamento do dispositivo. Posição da cabeça da escova de dente devidamente alinhando seu centro geométrico com o do receptáculo inserido no dispositivo. .... 48
- Figura 8 - Dispositivo confeccionado em material de PLA, esta peça era compatível com a base magnética da máquina de escovação e permitia o escoamento do slurry durante os movimentos

oscilatórios lineares da escovação. O dispositivo possuía um encaixe adaptado para o receptáculo e a capa de proteção. .... 50

Figura 9 – A) capa de proteção fabricada em material de PLA tinha como objetivo proteger as extremidades das amostras e deixar exposta à ação da escovação 2 mm de superfície dentinária, assim, permitindo o desgaste pela ação de escovação associada ao dentífrico. B) Capa de proteção posicionada sobre o dispositivo. C) amostras escovadas, após 20 ciclos de escovação mostrando o desgaste central na região desprotegida pela capa protetora. D) posição das cerdas da escova numa visão interna à capa protetora..... 51

Figura 10 - Avaliação da perda de superfície (PS) mensurada em  $\mu\text{m}$ . Este exemplo gráfico ilustra a formação do degrau provocado pela ação do desgaste advindo da escovação. A diferença de altura entre a superfície protegida do espécime e a área submetida à abrasão é mensurada pela variável quantitativa "Height", e este valor foi registrado como a representação de PS mensurada em  $\mu\text{m}$ . Foram registrados para ilustrar o aumento exponencial do desgaste conforme os ciclos de escovação aumentaram (5.000 ciclos, 10.000 ciclos e 20.000 ciclos) o exemplo ocorrido na amostra dentinária 21, submetida a uma escovação de amplitude 20 mm, frequência de 1 Hz e localizada na posição 2 (inserida em receptáculo duplo) durante todos os ensaios de escovação. A) Após 5.000 ciclos, a amostra apresentou uma perda de superfície (PS) de 16.209  $\mu\text{m}$ . B) Após 10.000 ciclos, a amostra apresentou uma perda de superfície de 27.899  $\mu\text{m}$ . C) Após 20.000 ciclos, a amostra apresentou uma perda de superfície de 116.118  $\mu\text{m}$ . .. 54

Figura 11 - Avaliação da rugosidade superficial (RS) mensurada em Ra. Este exemplo gráfico ilustra as alterações da superfície do tecido dentinário provocadas pela ação das cerdas da escova de dente, em conjunto com a ação do slurry, durante seus movimentos oscilatórios lineares no ensaio de abrasão. Foram registrados para ilustrar o aumento exponencial da rugosidade superficial conforme os ciclos de escovação aumentaram (5.000 ciclos, 10.000 ciclos e 20.000 ciclos) o exemplo ocorrido em uma amostra dentinária 8, submetida a uma escovação de amplitude 20 mm, frequência de 1 Hz e localizada na posição 3 (receptáculo único) durante todos os ensaios de escovação. A) No início dos experimentos e na superfície protegida pela capa protetora, a amostra apresentou uma rugosidade superficial inicial ( $RS_0$ ) de 0.153 Ra. B) Após 5.000 ciclos, a amostra apresentou uma rugosidade superficial (RS) de 0.306 Ra. C) Após 10.000 ciclos, a amostra apresentou uma rugosidade superficial de 0.471 Ra. D) Após 20.000 ciclos, a amostra apresentou uma rugosidade superficial de 0.528 Ra. .... 56

Figura 12 - Gráficos box plot apresentando os valores de desgaste e resultado das comparações múltiplas pelo teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner considerando a posição das amostras em relação a escova e o número de ciclos, separadamente. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis. Para todas as posições, a amplitude de 20 mm apresentou valores superiores que o grupo respectivo em 10 mm..... 60

Figura 13 - Gráficos com a média e desvio padrão para os valores de desgaste. O símbolo (\*) apresenta diferença estatística entre os grupos, considerando a posição da amostra em relação a

escova. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner. .... 62

Figura 14 - Gráficos box plot apresentando os valores de desgaste e resultado das comparações múltiplas pelo teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner considerando a posição das amostras em relação a escova e o número de ciclos, separadamente. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis. .... 66

Figura 15 - Gráficos com a média e desvio padrão para os valores de rugosidade. O símbolo (\*) apresenta diferença estatística entre os grupos, considerando a posição da amostra em relação a escova. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner. .... 68

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	18
<b>OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA</b> .....	19
<b>Objetivo Geral</b> .....	19
<b>Objetivos específicos</b> .....	19
<b>Capítulo 1 – Escovo, logo desgasto - uma introdução breve ao desgaste por abrasão na Odontologia</b> .....	20
<b>1.1 Características histológicas dos tecidos dentais</b> .....	20
<b>1.2 Mecanismos de desgaste da estrutura dental</b> .....	22
<b>1.3 Parâmetros cinéticos nos testes de abrasão</b> .....	27
<b>1.4 Considerações finais</b> .....	38
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>Capítulo 2 - Influência dos parâmetros cinéticos em teste de abrasão simulada na rugosidade e desgaste da dentina</b> .....	39
<b>Resumo</b> .....	39
<b>Abstract</b> .....	40
<b>2.1 Introdução</b> .....	41
<b>2.2. Objetivos</b> .....	42
<b>2.3. Metodologia</b> .....	42
2.3.1 <i>Confecção das amostras</i> .....	42
2.3.2 <i>Divisão dos Grupos</i> .....	44
2.3.3 <i>Escovação Simulada – teste de abrasão</i> .....	48
2.3.4 <i>Mensuração do desgaste abrasivo e rugosidade</i> .....	53
2.3.5 <i>Rugosidade Superficial</i> .....	55
2.3.6 <i>Análise estatística</i> .....	57
<b>2.4. Resultados</b> .....	57
<b>2.6. Conclusão</b> .....	73
<b>2.6. Referências*</b> .....	74
<b>Press Release</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## APRESENTAÇÃO

A presente dissertação é composta de 2 capítulos organizados de forma a apresentar ao leitor uma contextualização a cerca dos principais parâmetros cinéticos utilizados em testes experimentais de desgaste abrasivo na Odontologia e a influência deles nos resultados de desgaste e aumento da rugosidade da superfície.

O capítulo 1 introduz o tema a partir de uma revisão de literatura narrativa apresentando detalhes acerca da composição dos tecidos dentais e principais características histológicas, os principais mecanismos fisiológicos relacionados ao desgaste das estruturas mineralizadas orais, e como sua exacerbação os transforma em patológicos, especialmente pela relação com mecanismos abrasivos. Ainda, o texto apresenta diversos estudos que realizaram teste de abrasão simulada com variação dos parâmetros, muitas vezes relacionados com variações dos próprios equipamentos, e busca provocar no leitor uma reflexão acerca da influência destes parâmetros nos resultados obtidos.

O capítulo 2 apresenta um estudo *in vitro* avaliando a influência dos parâmetros de frequência, amplitude e posição da escova no desgaste da dentina. A dentina foi escolhida como tecido de teste por ser mais susceptível ao desgaste do que o esmalte, além de ser frequentemente utilizada na mensuração do índice RDA (*Relative Dentin Abrasivity*) para avaliar o potencial abrasivo de dentifrícios.

Os dois capítulos se enquadram na linha de pesquisa Métodos e materiais para diagnóstico, prevenção e terapêutica em Odontologia do PPGODT – UnB.

Os resultados parciais desta dissertação já foram apresentados ou estão aprovados para apresentação em eventos acadêmicos científicos, listados abaixo:

- Filgueiras AT, Rodrigues LM, Borges JVQS, Hilgert LA, Doca TCR, Zanatta RF. Avaliação da frequência de escovação no desgaste e rugosidade da dentina. XXVIII Jornada Odontológica da UnB – JOUnB. Apresentação em junho/2025.
- Filgueiras AT, Rodrigues LM, Borges JVQS, Hilgert LA, Doca TCR, Zanatta RF. Relação entre a posição da amostra e a cabeça da escova -no desgaste e rugosidade da dentina em ensaios de abrasão. 61ª Reunião do Grupo Brasileiro de Materiais Dentários – 61GBMD. Aprovado para apresentação em julho/2025.
- Filgueiras AT, Rodrigues LM, Almeida LM, Borges JVQS, Hilgert LA, Doca TCR, Zanatta RF. Influência dos parâmetros cinéticos da escovação simulada no desgaste da dentina. 42ª Reunião da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica – SBPqO. Aprovado para apresentação em setembro/2025.

## **OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

### **Objetivo Geral**

O objetivo geral deste estudo foi realizar um levantamento dos principais parâmetros cinéticos utilizados em testes de abrasão na Odontologia e investigar a influência deles no desgaste da dentina.

### **Objetivos específicos**

- 1) Avaliar a influência da frequência de escovação no desgaste e rugosidade da dentina,
- 2) Avaliar a influência da amplitude da escovação no desgaste e rugosidade da dentina,
- 3) Avaliar a influência da posição da escova frente à amostra no desgaste e rugosidade da dentina

## Capítulo 1 – Escovo, logo desgasto - uma introdução breve ao desgaste por abrasão na Odontologia

A abrasão é reconhecida como um dos principais mecanismos de desgaste mecânico da estrutura dentária, mas seu entendimento ainda é limitado e muitas vezes secundário quando comparado a outros processos de degradação, como a erosão e a fadiga. Na literatura científica, observa-se grande variação nos protocolos empregados para simular abrasão por escovação, especialmente em relação aos parâmetros cinéticos adotados, como força aplicada, frequência, amplitude e número de ciclos. Essa heterogeneidade metodológica dificulta a comparação entre estudos e limita a interpretação dos resultados, reforçando a necessidade de uma padronização nos ensaios experimentais voltados à análise do desgaste abrasivo. Assim, este texto teve como objetivo apresentar características e propriedades dos tecidos dentais e caracterizar os mecanismos de desgaste deles, apresentar alguns fundamentos teóricos do mecanismo de abrasão e revisar os parâmetros cinéticos mais frequentes na literatura.

### 1.1 Características histológicas dos tecidos dentais

O esmalte dentário constitui a matriz mineralizada mais rígida do organismo humano. Sua formação é mediada por ameloblastos, células de origem epitelial que são perdidas após a erupção dental, o que inviabiliza processos de renovação ou regeneração [tecidua][RZ1][D2][D3] (Katchburian and Arana 2023; Nanci A. 2019) [1][2]. Em resposta a essa limitação biológica, o esmalte desenvolve uma estrutura organizada e com elevado grau de mineralização, conferido principalmente pela quase total ausência de matriz orgânica em seu estado maduro. Apresenta características ópticas de translucência e coloração variável, entre o amarelo-claro e o branco-acinzentado [RZ4] (Torres et al. 2020) [3] A espessura do esmalte varia consideravelmente: atinge até 2,5 mm nas superfícies oclusais e se reduz gradualmente até formar uma borda fina na junção cimento-esmalte. Essa variação de espessura influencia a percepção de cor, uma vez que a dentina subjacente, de tonalidade amarelada, pode transparecer nas regiões de menor espessura [4][RZ5].

A composição química do esmalte maduro é constituído por aproximadamente 97% de material inorgânico, em peso, e 3% de água e matriz orgânica residual, em [peso][RZ6] (Katchburian and Arana 2023). [2]. O componente mineral é predominantemente formado por cristais de hidroxiapatita (fosfato de cálcio), presentes também em outros tecidos mineralizados

como osso, cartilagem calcificada, dentina e cimento. Durante a fase de mineralização, diversos íons exógenos — incluindo estrôncio, magnésio, chumbo e fluoreto — podem ser incorporados à estrutura cristalina da hidroxiapatita, modificando sua composição química e propriedades físico-químicas [1]. O esmalte dentário apresenta uma microestrutura anisotrópica, cujas propriedades mecânicas são fortemente influenciadas pela orientação, localização e arranjo dos prismas. Estes representam a unidade estrutural básica do esmalte e estão organizados perpendicularmente à superfície dental, estendendo-se da junção amelo-dentinária (DEJ) até a superfície externa do dente. Os cristais de hidroxiapatita, cuja fórmula química é  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , compõem cada prisma e apresentam formato fibrilar, com dimensões na faixa de 100 a 500 nanômetros de comprimento, 60 nanômetros de largura e 30 nanômetros de espessura. A orientação ordenada dos cristais ao longo dos prismas confere ao esmalte elevada resistência mecânica, embora sua anisotropia o torne mais vulnerável a fraturas em determinadas direções de propagação de força [4].

A dentina é o componente de tecido mineralizado do complexo dentina-polpa e forma a maior parte do dente. Este tecido possui uma matriz semelhante à do tecido ósseo, caracterizada por múltiplos túbulos dentinários densamente compactados que atravessam toda a sua espessura, os quais contêm dentro deles prolongamentos citoplasmáticos dos odontoblastos, as células responsáveis pela formação e manutenção da dentina. Os corpos celulares dos odontoblastos se encontram alinhados ao longo da face interna da dentina, justapostos a uma camada de pré-dentina, onde eles também formam o limite periférico da polpa dentária [6].

O tecido dentinário é depositado primeiramente como uma camada de matriz não mineralizada denominada pré-dentina, cuja espessura varia (10 a 50  $\mu\text{m}$ ) e reveste sua porção mais interna (pulpar). A pré-dentina consiste principalmente em colágeno, e é similar ao osteoide no tecido ósseo; ela é fácil de ser identificada em cortes histológicos por se corar com menos intensidade do que a dentina mineralizada. A pré-dentina mineraliza-se gradualmente em dentina, à medida que várias proteínas não colagênicas da matriz são incorporadas à frente de mineralização. Sua espessura permanece constante porque a quantidade que se calcifica é equilibrada pela adição de nova matriz não mineralizada. Ela é mais espessa nos momentos em que a dentinogênese ativa está ocorrendo e diminui de espessura com a idade [7]. A dentina madura é constituída de aproximadamente 70% de material inorgânico, 18% de material orgânico e 12% de água, em peso [2]. O componente inorgânico da dentina consiste em hidroxiapatita composta na forma de pequenas placas. A fase orgânica consiste em cerca de

90% de colágeno (principalmente do tipo I, com pequenas quantidades dos tipos III e V), com inclusões fracionárias de várias proteínas não colagênicas da matriz e lipídios. Embora o foco dos estudos tenha sido durante muito tempo a identificação das proteínas específicas do tecido ósseo ou da dentina, atualmente está claro que as proteínas da matriz óssea podem ser encontradas na dentina e que as proteínas da matriz dentinária também estão presentes no tecido ósseo. A natureza da dentina é viscoelástica e a sua composição favorece a dissipação de tensões, atuando como um amortecedor biomecânico entre o esmalte e a polpa dentária. A presença de túbulos dentinários influencia diretamente suas propriedades mecânicas, tornando a dentina um tecido anisotrópico e heterogêneo. A densidade e o diâmetro dos túbulos variam conforme a profundidade, sendo maiores nas regiões próximas à polpa, o que reduz a resistência mecânica e aumenta a permeabilidade nesses locais. De modo geral, a dentina possui menor dureza e módulo de elasticidade em comparação ao esmalte, mas apresenta maior tenacidade à fratura, desempenhando papel fundamental na integridade funcional do dente frente às cargas mastigatórias.

## **1.2 Mecanismos de desgaste da estrutura dental**

Na cavidade oral, os tecidos dentais estão sujeitos as mais diversas interpéries, pelo contato com a saliva, biofilme e alimentos oriundos da dieta, como pelo próprio contato entre os dentes, língua e tecidos moles. Essas condições favorecem a ocorrência de mecanismos distintos de desgaste da estrutura dentária, como a degradação química, o desgaste por fricção de dois ou três corpos e a fadiga por tensão [8][9], todos acontecendo ao longo da vida e sendo responsáveis pelo envelhecimento da estrutura dental.

O desgaste dentário pode ser categorizado em quatro grandes grupos: 1) o desgaste fisiológico, associado ao uso natural do sistema mastigatório ao longo do tempo; 2) o desgaste patológico, que inclui condições clínicas como bruxismo e a degradação exacerbada por ácidos (processo de erosão ou cárie); o desgaste por profilaxia, que decorre de procedimentos de higiene oral, como a escovação com dentifrícios abrasivos; e, por fim, o desgaste iatrogênico, decorrente de ações clínicas, durante preparos cavitários ou mesmo nas etapas de acabamento e polimento de restaurações [10][11]. Além dos mecanismos químicos e físico-mecânicos supracitados, o desgaste dental depende da interação de múltiplos fatores, incluindo o tipo de material envolvido, as condições de carga e movimento, a presença de lubrificantes (como a saliva), o meio químico (como pH), e a morfologia das superfícies em contato [12].

No contexto do mecanismo de degradação química, destaca-se a cárie dental, um processo bioquímico que ocorre na presença de um biofilme estruturado e maduro associado à ingestão frequente de carboidratos fermentáveis. Nessas condições, há uma alteração ecológica no microbioma oral, favorecendo o crescimento de microrganismos acidogênicos e acidúricos. O metabolismo desses microrganismos resulta na liberação de ácidos, que reduzem o pH do meio bucal abaixo do ponto crítico (aproximadamente 5,5 para o esmalte), promovendo a desmineralização da hidroxiapatita e iniciando a formação da lesão cariosa [13].

Além da cárie, outro mecanismo de degradação química relevante é a erosão dental, caracterizada pela perda de tecido duro provocada pela ação direta de ácidos não bacterianos, sejam eles de origem extrínseca (provenientes da dieta) ou intrínseca (como os oriundos de distúrbios gastroesofágicos). O desgaste erosivo compromete a microdureza dos tecidos dentários, tornando-os mais susceptíveis à ação de mecanismos físicos como a abrasão, geralmente associada à escovação dentária (desgaste de três corpos), e a atrição, resultante do contato dente a dente (desgaste de dois corpos). Assim, o desgaste erosivo deve ser entendido como um fenômeno multifatorial, no qual fatores biológicos (como composição e fluxo salivar), comportamentais (tipo e frequência de exposição ácida) e mecânicos (como escovação ou bruxismo) atuam de forma conjunta para modular a extensão da lesão [14].

Entre os mecanismos de desgaste físico, a abrasão é definida como a perda de estrutura dental provocada pelo deslizamento de um material mais duro sobre uma superfície mais macia, resultando na formação de ranhuras ou sulcos [15]. O material removido pode ser expelido sob a forma de fragmentos ou redistribuído como pequenas cristas ao longo das ranhuras formadas. Este tipo de desgaste, denominado abrasão de dois corpos, ocorre quando uma das superfícies em contato direto promove o desgaste da outra, e na odontologia, a ocorrência mais clássica é o desgaste do esmalte e da dentina pelo contato de dente contra dente, chamado de atrição. Em contrapartida, na abrasão de três corpos, partículas abrasivas são interpostas entre duas superfícies deslizantes, aderindo temporariamente a uma delas e provocando o desgaste da outra. Na odontologia o evento mais comum é o que ocorre no momento da escovação, onde os abrasivos do dentífrico (corpo 1) desgastam a estrutura dental (corpo 2) ao ser esfregado pelas cerdas da escova (corpo 3) [16].

A escovação dental é o método mais comum de manutenção da higiene oral, sendo essencial para desorganização e remoção do biofilme das superfícies dentais, além de contribuir com a saúde dos tecidos periodontais e de suporte. Os dentífricos são utilizados como suspensão para auxílio na remoção do biofilme e manchas extrínsecas, bem como veículo de

entrega de farmacos ou substancias com potencial bioativo que auxiliam na remineralizaçã (como fluoretos), controle de calculo dental, ou mesmo hipersensibilidade [dentinária][RZ11] (Baig 2018) [17]. Os componentes abrasivos mais comumente encontrados nos dentifricios são a silica, alumina, carbonatos (como carbonato de cálcio) e alguns agentes fosfatados (como pyrofosfato de calcio) [18]. Os abrasivos correspondem ao componente de segunda maior quantidade na composição dos dentifricios, correspondendo até 40% da massa total do produto. Sua principal função é remover o biofilme e debris, bem como auxiliar na remoção de manchas extrinsecas e polimento da estrutura dental, uma vez que quanto mais lisa a superfície, menor o acúmulo de biofilme e detritos (Baig 2018) [17]. O tamanho, forma e concentração das partículas abrasivas, aliados ao tipo de escova utilizada (manual ou elétrica), interferem diretamente nos índices de abrasividade observados, sendo a dentina geralmente mais vulnerável do que o esmalte. O ideal clínico é que o dentifricio apresente alta eficiência de limpeza com baixa abrasividade, o que nem sempre é alcançado na prática [19]. Além disso o tipo de umectante ou mesmo do detergente, podem influenciar no potencial abrasivo, uma vez que atuam como lubrificantes reduzindo o atrito durante o contato.

A severidade do desgaste abrasivo é proporcional à área real de contato, que por sua vez depende diretamente da pressão aplicada e inversamente da dureza da superfície. Esse comportamento é descrito pela equação  $V \propto (N \cdot P / H)$ , a qual evidencia a influência da força normal (N), da pressão (P) e da dureza (H) sobre a perda volumétrica (V) de material [20]. Outros fatores também influenciam a abrasão, como a textura superficial, a temperatura e a umidade do ambiente [21][22].

Por fim, o último mecanismo de desgaste que será mencionado neste texto é a degradação por tensão, causada pela concentração de tensões mecânicas oriundas de forças repetitivas, geralmente associadas a forças oclusais excêntricas, especialmente em casos de parafunção. Esse tipo de desgaste é considerado um mecanismo de fadiga estrutural, no qual as cargas cíclicas geram microtrincas no esmalte e na dentina, especialmente nas regiões cervicais dos dentes, onde a estrutura é mais fina e susceptível ao acúmulo de tensões [23][RZ12]. Com o tempo, essas microtrincas podem coalescer, resultando na fratura de pequenos fragmentos da estrutura dentária, o que é exacerbado na presença de agentes químicos ou abrasivos [24][RZ13]. Os casos de fadiga e fratura a distancia distância do ponto de geração da força é conhecido na Odontologia como mecanismo de abfração, e está intrinsicamente ligado ao aparecimento de lesões cervicais não cariosas, especialmente as com formato de cunha, localizadas próximas à

junção cimento-esmalte [25, 26[RZ14]], frequentemente associadas a hipersensibilidade dentinária.

O desgaste de superfícies é estudo por uma ciência conhecida como tribologia, palavra esta mencionada pela primeira vez em um relatório marcante elaborado por Jost, em 1966 [27[RZ15]]. O termo deriva do grego *tribos*, que significa "atrito" ou "esfregar", de modo que sua tradução literal seria “a ciência do atrito”. Seus equivalentes mais utilizados em inglês são *friction and wear* (atrito e desgaste). Dicionários definem tribologia como a ciência e a tecnologia das superfícies em interação sob movimento relativo, incluindo temas e práticas correlatas. As interações superficiais em uma interface tribológica são altamente complexas, e sua compreensão exige conhecimento multidisciplinar em áreas como física, química, matemática aplicada, mecânica dos sólidos, mecânica dos fluidos, termodinâmica, transferência de calor, ciência dos materiais, reologia, lubrificação, projeto de máquinas, desempenho e confiabilidade [28[RZ16]]. Durante o deslizamento entre superfícies, ocorrem interações eletrostáticas entre os átomos em contato, resultando na deformação localizada e no rompimento de microestruturas, o que contribui para o desgaste. A força de atrito é determinada por características como a rugosidade das superfícies e independe da área de contato e da velocidade relativa entre os corpos. Pode-se distinguir ainda entre atrito estático, quando não há movimento relativo entre os corpos, e atrito cinético, quando há deslizamento contínuo [29[RZ17]].

A tribologia é um fator contribuinte na prática da higiene oral. A rotina de escovação dos dentes com dentifrício contendo partículas abrasivas em sua composição de manhã, após as refeições e antes de dormir é um exemplo disso. A escovação diária com dentifrícios fluoretados é de suma importância na prevenção de acúmulo de biofilme sobre a superfície dentária, assim, protegendo o dente do desenvolvimento de lesões cáries. No entanto, a escovação não está isenta de desvantagens. O desgaste profilático, advindo da associação da escovação dentária com a ação do dentifrício, promove efeitos abrasivos quando realizado com vigorosidade excessiva e utilizando escovas com cerdas rígidas [30].

Um parâmetro geométrico de destaque na análise tribológica é o ângulo de ataque, definido como o ângulo formado entre a direção do movimento relativo e a face ou borda do corpo que interage com uma superfície. Este parâmetro influencia diretamente o tipo de desgaste ocorrido [31][32]. Na tribologia, o conceito de ângulo de ataque é particularmente importante em situações de contato mecânico onde ocorre atrito ou desgaste, como no caso de

partículas abrasivas, ferramentas de corte ou componentes que sofrem deslizamento. O ângulo de ataque influencia diretamente o tipo de interação que ocorre entre as superfícies, determinando o mecanismo de desgaste predominante. Ângulos de ataque mais agudos promovem desgaste abrasivo por microcorte e remoção de material, enquanto ângulos mais obtusos favorecem a deformação plástica ou fadiga da superfície, com menor perda de estrutura, mas potencial comprometimento funcional ao longo do tempo [33][RZ18]. Compreender e controlar o ângulo de ataque em estudos tribológicos é essencial para caracterizar adequadamente os mecanismos de desgaste e propor estratégias de melhoria de desempenho de materiais e superfícies. Esse parâmetro, embora geométrico, está diretamente relacionado à eficiência, durabilidade e integridade funcional de sistemas em que há atrito e contato mecânico [34].

Do ponto de vista experimental, a avaliação do desgaste dentário pode ser feita tanto por meio de modelos clínicos quanto por ensaios laboratoriais padronizados. Um dos modelos mais interessantes descritos envolve o uso de cristais de fluorapatita como substituto do esmalte humano, permitindo avaliação controlada do atrito e do padrão de falhas. Sobre esse cristal é realizado o deslizamento de uma esfera de diamante a fim de identificar padrões de falha da superfície, variando desde falhas puramente dúcteis até fraturas frágil-tenazes do tipo "chevron" indicativas de lascamento. O termo vem do francês "chevron", o que significa literalmente "viga inclinada" ou "padrão em V", portanto, são marcas em forma de V ou padrão de espinha de peixe que se formam na superfície do material como resultado de trincas de fratura. Indicam fratura por tração, aparecendo frequentemente quando há lascamento (chipping) e indicam a direção de propagação de trincas. O comportamento da fricção e do desgaste nesses ensaios muda significativamente conforme o meio em que o teste é realizado (por exemplo: ar, água ou dimetilformamida), refletindo as possíveis condições da cavidade oral [35][36]. Existe uma escala de classificação das falhas de superfície observadas em testes de deslizamento sobre cristais de fluorapatita (Figura 1), baseada nos tipos de danos tribológicos que ocorrem na superfície do material quando ele é submetido ao atrito com um corpo duro (neste caso, a esfera de diamante com 360 µm de diâmetro). A escala é dividida em 5 classes e permite interpretar o tipo de dano gerado pela ação abrasiva sob diferentes condições (em ar, em água, com diferentes direções de deslizamento etc.). É um recurso essencial na análise tribológica de superfícies, especialmente para prever como materiais dentários ou substratos dentários naturais podem se comportar frente a desgastes clínicos, como escovação ou mastigação [37][UC19].

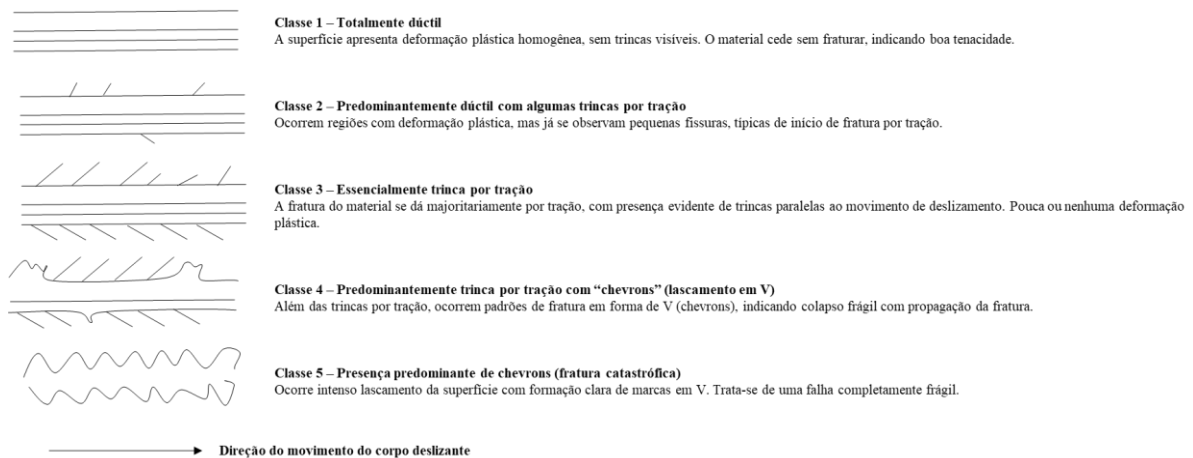


Figura 1 - [RZ20][UC21]Esquema adaptado de John M. Powers et. al. "Wear of Fluorapatite Single Crystals: III. Classification of Surface Failure" (1972), mostrando a escala de classificação das falhas de superfície observadas em testes de deslizamento sobre cristais de fluorapatita, usada como modelo para o esmalte dentário.

### 1.3 Parâmetros cinéticos nos testes de abrasão

Como descrito acima, a abrasão é um dos principais mecanismos de desgaste mecânico envolvidos na perda de estrutura dentária, no entanto seu papel muitas vezes é considerado secundário ou adjuvante nos estudos avaliando desgaste dental, especialmente o de origem não cariosa. Os testes de abrasão simulada desempenham um papel fundamental na compreensão dos fatores que modulam a severidade do desgaste, no entanto os parâmetros cinéticos adotados no estudos observados na literatura carecem de padronização, podendo ser muitas vezes influenciados por limitações dos próprios equipamentos de simulação. Neste contexto, a seguir, apresenta-se uma revisão cronológica da literatura, com alguns estudos dos últimos 15 anos, sobre os principais parâmetros cinéticos utilizados em testes de abrasão simulada.

Engle e colaboradores (2010) [38] avaliaram o desgaste de esmalte e dentina em conjunto com a ação clareadora após 600 ciclos de erosão/abrasão com uma força de escovação aplicada de 200g. Os autores não especificaram os tipos de escovas utilizadas durante os experimentos nem outras especificações dos parâmetros cinéticos, tais como a frequência e a amplitude dos movimentos da escova. A erosão dentária e o dentífrício considerado mais abrasivo aumentaram o desgaste no tecido do esmalte advindo da escovação, já o clareamento, não apresentou efeito deletério. O desgaste do tecido dentinário também aumentou após ser submetido à erosão e o uso de dentífrício abrasivo durante o ensaio de abrasão. O clareamento

aumentou a perda de superfície na dentina não erodida e diminuiu no caso da dentina erodida quando sua superfície foi escovada pelo dentifrício considerado como menos abrasivo.

O estudo de Trauth e colaboradores (2012) [39] avaliou 6 espécimes de resina composta escovados simultaneamente com escovas de cerdas macias, submetidas a uma carga de força aplicada 200g, frequência de 6Hz e amplitude do movimento da escovação de 38mm por 0,356 ciclos. Os pesquisadores avaliaram a influência dos colutórios bucais na rugosidade superficial dos compósitos resinosos após a ocorrência ou não da escovação simulada. Observaram que somente os grupos submetidos à escovação simulada apresentaram diferença significativa, com uma rugosidade superficial maior.

No estudo de Wiegand et. al. (2013) [40] os pesquisadores realizaram um estudo in vitro com amostras de esmalte e dentina submetidas ou não a desafios erosivos e comparando escovas elétricas de baixa e alta frequência (0.9Hz) com a escovação manual (1.6Hz). O estudo não especifica a amplitude dos movimentos da escovação manual e nem o tipo de escova escolhida para o estudo. Os espécimes de esmalte e dentina foram submetidos a 100 minutos de escovação (sem especificação do número de ciclos) durante a escovação simulada. Os resultados constataram que a escovação manual causou alta taxa de abrasão de dentina sadia e erodida, mas baixa no esmalte sadio. Não houve diferença significativa detectada para o esmalte erodido. A força de escovação manual e das escovas elétricas são consideradas diferentes e afetam significativamente a sua capacidade de abrasão.

No estudo de Carvalho et al. (2014) [41] foram preparadas 150 amostras de esmalte humano que foram divididas em grupos comparando o efeito de prevenção da ação erosiva de dentifrícios fluoretados, contendo fluoreto de sódio ou fluoreto de estanho, e quitosana e colutórios bucais que contém fluoreto de estanho. O ensaio de erosão/abrasão foi realizado com uma força aplicada de 200g, amplitude de movimentos da escova de 40mm, sob uma frequência de 2Hz, cada amostra sendo escovada por 20s/dia. Por fim, o tratamento com dentifrício de fluoreto de estanho e quitosana proveu uma microdureza superficial semelhante ao grupo escovado com dentifrício de fluoreto de sódio, mas com perda de superfície consideravelmente reduzida. O grupo com dentifrício de fluoreto de estanho e quitosana demonstrou um efeito preventivo melhor, pois promoveu microdureza superficial e reduziu a perda de estrutura dentária.

No estudo de Sehmi et al. (2015) [42] 60 amostras de dentina foram divididas aleatoriamente em grupo controle (sem escova), ou escovação com força aplicada de 100g, 200g ou 400g. Todos os espécimes foram imersos em suspensão de dentifrício de fluoreto de

sódio e saliva artificial e foram escovadas com frequência a 1Hz (com escova macia; 120 ciclos de escovação) ou não escovadas. Então amostras foram submetidas ao desafio erosivo (0.3% ácido cítrico pH 2.6 por 2 minutos). E então, amostras foram submetidas ao ensaio de abrasão novamente. A força de abrasão maior de 400g causou exposição de mais túbulos dentinários. Enquanto força de escovação menor de 100g, a exposição de túbulos dentinários foi menor mesmo após o desafio erosivo.

Em um estudo realizado por João-Souza e colaboradores (2017) [43], espécimes de esmalte humano foram submetidos a um protocolo de erosão-abrasão de 5 dias, com 1 ciclo/dia. Cada ciclo consistia em incubar individualmente cada espécime em saliva artificial (60 minutos, 37°C, 70rpm, amplitude de 50mm), seguido por desmineralização em 1% ácido cítrico (pH 3.6, 3 minutos, 25°C, 70rpm, amplitude de 50mm). Após cada imersão, os espécimes foram lavados com água filtrada por 15 segundos e com água destilada por 5 segundos, então secadas com ar por 5 segundos. Subsequentemente, cada espécime foi escovado com uma suspensão de dentifrício (com efeito anti-erosivo ou desensibilizante) ou saliva artificial, de acordo com o grupo experimental. Os espécimes foram escovados por 25 segundos (50 escovadas, 2N, 120 escovadas/minuto, amplitude de 40mm, velocidade de 40mm/s). Os resultados constataram que a perda de superfície do esmalte dentário independe do tipo de dentifrício, seja ele com promessas de ter efeito anti-erosão ou desensibilizante.

Torres e colaboradores (2018) [44], avaliaram 80 amostras de esmalte bovino polidas aleatoriamente organizadas em grupos de acordo com tratamento com colutórios bucais. Os espécimes foram imersos nos enxaguantes bucais por 1 minuto e escovadas com 10 escovadas, usando um dentifrício contendo fluoreto de sódio. Após tratamentos, foram imersas em saliva artificial por 30 minutos. Um total de 540 ciclos foram realizados simulando 9 meses de uso. Foram avaliadas a microdureza de Knoop e perfilometria para analisar perda de superfície e microdureza superficial. Os espécimes foram imersos em saliva artificial por mais 30 dias e microdureza foi mensurada novamente. O uso contínuo de enxaguantes bucais pode aumentar o potencial abrasivo no esmalte quando associado à escovação dentária diária. A máquina de ensaio escolhida para este estudo MEV2T Odeme, possui uma amplitude fixa de 30mm, porém não relatou o parâmetro de frequência escolhido para o ensaio de abrasão.

O estudo de Viana e colaboradores (2020) [45] teve como objetivo avaliar o efeito da erosão ou erosão-abrasão sobre materiais bioativos e as áreas de esmalte/dentina adjacentes. Os espécimes foram submetidos a dois modelos de ciclagem: erosão ou erosão-abrasão. Os desafios consistiram na imersão em solução de ácido cítrico 0.3%, seguido por exposição à

saliva artificial por 60 minutos. O ensaio de escovação foi realizado 2x/dia, 30 minutos antes e depois da exposição ao ácido, totalizando 450 ciclos. A força aplicada durante a escovação foi de 150g, sob uma frequência de 3Hz e amplitude de 30mm de movimentação da escova. Perda de superfície dentária e material (mensurada em micrômetros) foram determinadas por perfilometria óptica. Os resultados constataram que os materiais ioméricos selecionados para proteger a estrutura dentária conseguiram reduzir significativamente o desgaste erosivo no esmalte, mas não na dentina.

Lima et al. (2020) [46], analisaram o impacto de dentifrícios dessensibilizantes e/ou clareadores sobre o esmalte. Para abrasão, 30.000 ciclos de escovação foram realizados e a rugosidade superficial foi avaliada. No grupo associando erosão-abrasão foi utilizado ciclagem com ácido cítrico 1% (2 minutos) e saliva artificial (60 minutos); 6x/dia, com 45 escovações. A força aplicada durante a escovação foi de 1.5N, sob uma frequência de 3Hz e não relatou a amplitude percorrida pela escova durante os movimentos. Perda de superfície foi determinada com perfilometria óptica. Apenas um dentifrício (Oral-B 3D White Perfection) aumentou a rugosidade superficial do esmalte. Escovar com os dentifrícios testados não causou um desgaste erosivo maior no esmalte do que escovar com saliva artificial.

Krol et al. (2021) [47] buscaram determinar o impacto do protocolo de escovação no desgaste do tecido dentinário comparando a escovação contínua com a intermitente. Espécimes de dentina foram distribuídos em 6 grupos, nos quais as amostras foram escovadas com slurry. Grupos A, C e E foram escovados continuamente (25 minutos) com um preparo de slurry, enquanto os grupos B, D e F foram escovados de forma intermitente (25 x 1 minuto) com um acréscimo de slurry após cada sequência. A força aplicada durante a escovação foi de 2.5N, sob uma frequência de 2Hz e não relatou a amplitude percorrida pela escova durante os movimentos da escovação. Desgaste da dentina foi determinado utilizando perfilometria da superfície. A forma de escovação, seja de maneira contínua ou intermitente, não teve influência no desgaste abrasivo da dentina.

Leal e colaboradores (2021) [48] avaliaram a ação de hesperidina (HPN) em diferentes concentrações para prevenir o desgaste erosivo da dentina, associada ou não a abrasão. Este estudo contou com 6 grupos experimentais para erosão e outros 6 para erosão e abrasão. Os tratamentos foram: água destilada (DW), DW com colagenase (DW + Col), 0.46% epigallocatechin-3-gallate (EGCG) e 0.1%, 0.5% ou 1% HPN. Os espécimes foram submetidos a ciclagem (3x/dia) por 5 dias que consistiram em imersão em ácido cítrico 1% (5 minutos), saliva artificial (60 minutos), tratamento (5 minutos), escovação (150 movimentos só no

experimento 2), e saliva artificial (60 minutos por uma noite). Foi aplicada uma força de 200 g durante a escovação, percorrendo uma amplitude de 30 mm de amplitude dos movimentos da escova, no entanto, não foi informado o parâmetro de frequência escolhido para o ensaio de abrasão. Colagenase foi adicionada na saliva artificial para todos os grupos, exceto no grupo da água destilada (DW). Mudanças na dentina foram analisadas com perfilometria óptica e escaneamento eletrônico por microscopia. HPN foi capaz de preservar a camada de matriz orgânica desmineralizada, mas não conseguiu superar o efeito da EGCG.

Zanatta et al. (2021) [49] avaliaram o efeito de dentifrícios com silicato de cálcio/fosfato de sódio/fluoreto associado ou não a um sérum fluoretado contra o desgaste dental erosivo no esmalte e dentina. Esmalte e dentina bovinos foram submetidos a um modelo de ciclagem erosão-abrasão (ácido cítrico 1% - pH 3.6 - 2 minutos / saliva artificial – 60 minutos, 4x/dia, 5 dias). A escovação foi realizada por 15 segundos, 2x/dia, com quatro dentifrícios. O efeito dos tratamentos nos tecidos erodidos foi analisada por microdureza e a perda de superfície resultando do desgaste dental erosivo foi analisada por perfilometria (mensurada em micrômetros) depois de 3 e 5 dias. A Abrasividade dos dentifrícios foi avaliada em espécimes de dentina adicionais submetidos a 20.000 ciclos. A força aplicada durante a escovação foi de 200g, sob a frequência de 2Hz e amplitude de 30mm. O dentifrício de silicato de cálcio/fosfato de sódio e sérum aumentaram significativamente a microdureza da dentina erodida, mas não reduziu a perda de estrutura dentária de esmalte e dentina comparado ao dentifrício controle não fluoretado. A abrasividade dos dentifrícios não conseguiu predizer o efeito sobre o desgaste dental erosivo.

Chang et al. (2021) [50] avaliaram o efeito de escovação na variação de peso e propriedades de superfície de diferentes bases protéticas. Quatro materiais para bases protéticas (termpolimerizável convencional, de alto impacto, CAD/CAM e resinas de poliamida) foram submetidas a abrasão por meio da escovação (50.000 ciclos). O valor do peso, rugosidade superficial e topografia de cada grupo foram determinados antes e após a escovação. A força aplicada durante a escovação foi de 200 g, sob uma frequência de 2 Hz e uma amplitude de 35 mm. A dureza foi mensurada pelo teste de microdureza de Vickers. Após escovação, o peso da resina de poliamida aumentou significativamente; perda do peso foi observada no caso da resina termpolimerizável convencional e nas resinas de alto impacto, mas o mesmo não aconteceu com a resina CAD/CAM. A rugosidade superficial de cada grupo aumentou significativamente devido ao desgaste causado pela escovação. A variação de peso e rugosidade superficial não foram afetadas pela dureza. Os resultados sugerem que os materiais de bases protéticas

deterioram após escovação com dentífrico, dentre eles a resina de poliamida exibiu níveis menores de abrasão.

De Andrade et al (2021) [51] avaliaram o efeito da escovação simulada no brilho, rugosidade e desgaste de materiais CAD-CAM. Espécimes em formato de discos foram preparados dos materiais: ENA-VITA Enamic; LAV-Lava Ultimate; EMP-IPS Empress CAD; CER-Cerasmart; GRA-Grandio blocs. O brilho (Gloss Unit-GU) e rugosidade superficial (Ra-micrômetros) foram avaliados antes e depois da escovação simulada (100.000 ciclos). A força aplicada de 2N durante a escovação sob a frequência de 2Hz e uma amplitude 30mm dos movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. Desgaste (micrômetros) foi avaliado pela perfilometria de contato. Análises adicionais de microdureza pela microscopia eletrônica de varredura também foram realizadas. Os materiais que contém fase vítrea (ENA e EMP) apresentaram maior resistência ao desgaste, maior brilho, e menor rugosidade após escovação do que os materiais testados. O teste de correlação mostrou que quanto maior a rugosidade superficial, menor o brilho.

Osmanaj e colaboradores (2022) [52] investigaram o efeito da abrasão no tecido dentinário humano após escovação com dentífricos contendo carvão ativado. Uma máquina de escovação fabricada para este estudo foi utilizada para escovar 5 grupos (Grupo A: Água, Grupo B: Senodyne Pro Schmelz, Grupo C: Splat Blackwood, Grupo D: Curaprox Black is White e Grupo E: Prokudent Black Brilliant) com escovas de dente elétricas carregadas por 4 horas. A força aplicada durante a escovação foi de 150g, no entanto o estudo não relatou os parâmetros da frequência e amplitude escolhidos para o ensaio de abrasão. O desgaste abrasivo da dentina foi calculado usando dados advindos da perfilometria. Dentro das limitações do estudo, constatou-se que o conteúdo de carvão ativado em dentífricos com este componente teve pouca influência observada no comportamento abrasivo, mesmo que um dos dentífricos que continha carvão tenha demonstrado uma quantidade de desgaste abrasivo maior no tecido dentinário.

Segundo Hamza et al. (2022) [53], as propriedades geométricas das escovas de dente são importantes no desenvolvimento do desgaste dental e nas lesões cervicais não cariosas. Este estudo investigou a relação entre o arranjo geométrico dos tufo (cruzados vs. paralelos) e a rigidez das cerdas (macia vs. médio) no desgaste abrasivo da dentina usando três suspensões com diferentes níveis de abrasividade (RDA: 67, 121 e 174). Doze grupos de amostras de dentina bovina foram escovadas com uma combinação das variáveis mencionados anteriormente. A força aplicada durante a escovação de 25 minutos dos espécimes foi de 2.5N, sob a frequência de 2 Hz, no entanto, não foi informado o parâmetro da amplitude dos

movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. O desgaste abrasivo da dentina foi registrado com perfilometria. Escovas dentárias com arranjo de tufo paralelos causaram desgaste da dentina significativamente maior comparado ao arranjo de tufo cruzado, independentemente do nível de abrasividade usado na suspensão ou da rigidez das cerdas. Tufo cruzados macios causaram desgaste abrasivo da dentina significativamente maior que tufo cruzados médios, enquanto tufo paralelos macios e médios causaram a mesma quantidade de desgaste dentinário, independentemente do valor de RDA da suspensão.

De Lima e colaboradores (2022) [54] avaliaram o impacto de dentifrícios dessensibilizantes (D) e clareadores (W) na mudança de cor dentária. Espécimes de esmalte dentário foram organizados em 11 grupos: 1. Saliva Artificial (controle); 2. Sensodyne Repair & Protect (SRP-D); 3. Sensodyne Repair & Protect Whitening (SRP-DW); 4. Colgate Sensitive Pro-Relief (CSPR-D); 5. Colgate Sensitive Pro-Relief Real White (CSPR-DW); 6. Colgate Total 12 (CT12); 7. Colgate Total 12 Whitening (CT12-W); 8. Sensodyne True White (ST-W); 9. Curaprox Black is White (CB-W); 10. Oral-B 3D White Perfection (OB3D-W) e 11. Somente Erosão. A força aplicada durante a escovação de 30.000 ciclos foi de 1.5N, no entanto, o estudo não informou os parâmetros escolhidos para frequência e amplitude dos movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. Os espécimes foram submetidos a dois protocolos: A. Abrasão; B. Erosão/Abrasão. A mudança de cor foi determinada com um espectrofotômetro. Os autores observaram que os dentifrícios não promoveram clareamento nem evitaram o aspecto amarelado do dente após abrasão e erosão-abrasão, independente de suas promessas.

No estudo de Kim e colaboradores (2022) [55], os valores equivalentes de abrasividade relativa da dentina por perfilometria (RDA-PE) foram comparados por meio de perfilometria sem contato, utilizando três subtipos de cremes dentais regulares e dois subtipos de cremes dentais clareadores contendo bicarbonato de sódio e peróxido de hidrogênio a 35%. Espécimes de dentina bovina foram divididos em seis grupos: dentifrício convencional (R); R1 (Bamboo Salt Gum Ointment); R2 (Median Tartar Original); R3 (Perioe Alpha), slurry referência: RS (Pirofosfato de Cálcio), dentifrício clareador: W1 (Net. WT); W2 (Vussen 28 Whitening). A abrasão relativa à dentina obtida por perfilometria (RDA-PE) foi determinada pela escovação com 10000 ciclos. A força aplicada durante a escovação foi de 150g, sob a frequência de 2.8Hz e uma amplitude de movimento da escova de 20mm durante o ensaio de abrasão. Os valores de RDA-PE variaram de 26 a 166, e os níveis de pH variaram entre 4.9-9.1. O valor de RDA-PE do dentifrício clareador contendo peróxido de hidrogênio não foi alto comparado com o de

dentifrícios convencionais. Os valores de RDA-PE de dentifrícios clareadores variaram dependendo do mecanismo e ingredientes dos agentes clareadores.

No estudo de Koroglü et. al (2022) [56], foi investigado os efeitos da escovação com diferentes dentifrícios na rugosidade superficial (Ra) e estabilidade de cor de diferentes materiais de coroas protéticas. Foram testados os materiais Tab 2000 (ChOM), Imident (LaPM), Protemp 4 (ChDM) e Telio-CAD (CadPM)). Espécimes foram distribuídos em 4 subgrupos para o grupo controle (Cnt) e para a escovação simulada com água destilada (Dw) ou com dois dentifrícios diferentes (dentifrício clareador (WTP), dentifrício de carvão ativado (ACTp)). Os valores de Ra dos espécimes foram mensurados antes e depois dos 10.000 ciclos de escovação. A força aplicada da escovação foi de 350 g sob uma frequência de 40 mm/seg e uma amplitude de 10 mm dos movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. Os parâmetros de cor foram mensurados e as diferenças de cor foram calculados. Antes e depois dos procedimentos de escovação, os espécimes de CadPM foram mais lisas e espécimes de ChPM tiveram superfícies mais rugosas do que os outros materiais avaliados. Os dois dentifrícios testados tiveram efeitos semelhantes no Ra de todos os materiais. Mudanças de cor não perceptíveis só foram observadas com o grupo CadPM-Dw.

No estudo de Pico et al. (2022) [57], foi avaliado os efeitos da erosão com ácido gástrico combinada com a abrasão mecânica por escovação nas propriedades mecânicas, topografia da superfície e adesão do biofilme de diferentes cerâmicas e resinas para CAD/CAM. Foram testadas cerâmica-vítrea de lítio reforçada com zircônia (ZLS), cerâmica infiltrada por polímeros (PICN), cerâmica-vítrea feldspática (FE) e duas resinas não-cerâmicas (RK, RG). Os espécimes foram submetidos aos seguintes desafios: erosão (E), abrasão (A), erosão combinada com abrasão (E + A) ou sem tratamento (controle – C). A força aplicada durante a escovação foi de 200g durante 30.000 ciclos, no entanto o estudo não informou os parâmetros da frequência nem da amplitude escolhidos durante os ensaios de abrasão. Depois dos desafios, a resistência flexural foi avaliada, enquanto microdureza (KHN) e rugosidade superficial (Ra) foram testados antes e depois dos tratamentos. A adesão do biofilme (*Streptococcus mutans* ATCC 700610, *Streptococcus sanguinis* ATCC 10556 e *Candida albicans* MYA 2876) foi determinado pela contagem de colônias formadas por mililitros (UFC/mL) após desafios erosivos e abrasivos. Desafios erosivos combinados com abrasão influenciaram negativamente nas propriedades mecânicas e na topografia superficial da maioria dos materiais CAD/CAM e a adesão de biofilme no ZLS. Além disso, a severidade do dano é relacionada ao tipo e composição de cada material.

No estudo de Ishida et al. (2023) [58], foi avaliado o efeito da abrasão provocada pela escovação dentária nas propriedades de superfície de blocos de resina composta com diferentes cores utilizados em restaurações de dentes anteriores. Testes de abrasão-escovação foram realizados com 20.000 ciclos sob uma frequência de 2Hz com uma força aplicada de 2N, no entanto não foi informado a amplitude dos movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. Brilho e rugosidade superficial foram mensurados antes e depois da abrasão. Foi considerado que a escovação causou a diminuição do brilho e o aumento da rugosidade superficial com correlação negativa significativa entre esses resultados.

Kim e colaboradores (2023) [59] compararam o desgaste da dentina baseado no pH, tamponamento e concentração de peróxido de hidrogênio (HP) e ácido cítrico (CA) em dentifrícios comerciais e experimentais após escovação ou imersão. Espécimes de dentina bovinas foram distribuídos aleatoriamente nos grupos. As soluções preparadas incluíram 2 dentifrícios comerciais (dentifrício clareador - WT com HP e CA; dentifrício convencional – CT sem HP e CA), suspensão abrasiva de referência (RS), duas soluções de CA (1.92%; 0.001%, CAS2), solução básica (7.16% fosfato de sódio dibásico - SPDs), solução de CA fosfato buffer (3.58% SPDS e 0.96% CA – CAPB), solução de HP (4%, HPS) e água destilada (DW). Espécimes de dentina foram inseridos em dois tratamentos: um com somente abrasão (10.000 ciclos) e um com apenas imersão (1h). A força aplicada durante a escovação foi de 150g, sob a frequência de 2.8Hz e uma amplitude de 20mm dos movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. Após os tratamentos, a quantidade de desgaste dentinário e imagens da superfície foram mensurados e observados usando perfilometria. WT contendo HP e CA não aumentaram a abrasão dentinária mas causou desgaste dentinário adicional mesmo sem escovação. Após escovação ou imersão, a concentração de CA pode afetar mais a superfície dentinária do que a concentração de HP incluída em WT. A quantidade de abrasão ou desgaste dentinário após escovação ou imersão pode variar de acordo com a composição, concentração e buffer na solução, mesmo se o pH da solução seja semelhante a 5.

Sakae et al. (2023) [60] investigaram a influência de diferentes tipos de protocolo de escovação (associado a dentifrício) no progresso de desgaste dental erosivo para estudos in vitro. Espécimes de esmalte dentário bovino foram distribuídos aleatoriamente em 12 grupos experimentais, de acordo com os fatores de estudo: (1) movimento da escovação (horizontal ou circular); (2) diluente de slurry (saliva artificial ou água destilada); (3) razão de diluição do dentifrício (1:2, 1:3 ou 1:4). Um modelo de ciclagem de erosão-abrasão de 5 dias foi realizado, cada um contendo 4 desafios erosivos (0.3% ácido cítrico, pH=2.6) seguido por exposição à

saliva artificial por 60 minutos. Escovação com dentifrício fluoretado (15s, 1400 ppmF, AmF) 2x/dia. A força aplicada durante a escovação foi de 150g, sob uma frequência de 3Hz, no entanto o estudo não relatou a amplitude dos movimentos da escova durante os movimentos do ensaio de abrasão. Perda de superfície do esmalte foi determinada com perfilometria óptica. A progressão de perda do esmalte in vitro foi influenciada pelo movimento de escovação, assim como pela combinação da razão de diluição e o tipo de diluente da suspensão do dentifrício, portanto, os fatores devem ser considerados quando se quer comparar resultados de diferentes estudos.

Kim e colaboradores (2023) [61] comparou a abrasividade de quatro dentifrícios clareadores, dois dentifrícios convencionais e sete dentifrícios experimentais com concentrações variáveis de peróxido de hidrogênio. Espécimes de dentina bovina foram tratados com os quatro dentifrícios clareadores (contendo três diferentes tipos de concentração de peróxido de hidrogênio: 0.75%, 1.50% e 2.80%), dois dentifrícios convencionais sem peróxido de hidrogênio, sete dentifrícios experimentais (concentrações de peróxido de hidrogênio: 0.75%, 1.50%, 3.0%, 4.50%, 6.0%, 7.50% e 9.0%) e água destilada. Após 10.000 ciclos de escovação, a quantidade de abrasão na superfície dentinária foi mensurada com um perfilômetro. A força aplicada durante a escovação foi de 150g, sob uma frequência de 2.8Hz e amplitude de 20mm de movimento da escova durante o ensaio de abrasão. O pH de todas as soluções e a porcentagem do peso das partículas dos dentifrícios foram avaliados. As correlações entre a abrasão da dentina, pH, e porcentagem de carga das partículas dos dentifrícios foram investigados. Os dentifrícios clareadores contendo menos de 9% de peróxido de hidrogênio não aparentaram danificar significativamente a superfície dentinária.

Zoller e colaboradores (2023) [62] avaliaram os valores da abrasividade relativa da dentina (RDA) e da abrasividade relativa do esmalte (REA) de dentifrícios contendo carvão ativado. Amostras de esmalte e dentina carregado de forma radioativa foram divididos aleatoriamente em oito grupos. A força aplicada durante os 1.500 ciclos de escovação foi de 2.5N sob uma frequência de 1 Hz, no entanto, o estudo não informou a amplitude dos movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. A mensuração da radioatividade contabilizada por minuto nas suspensões corresponde a quantidade de dentina e esmalte abrasionado. Valores de RDA e REA de dentifrícios contendo carvão ativado foram expressos de acordo com o valor conhecido das suspensões de dentifrícios comerciais disponíveis. Os valores de RDA e REA não diferiram significativamente dos dentifrícios testados e comercialmente disponíveis. No entanto, a falta de fluoretos na composição de muitos dos

dentifrícios com carvão ativado investigados podem obter um efeito com menos benefícios para os consumidores.

McIlwain e colaboradores (2023) [63] compararam a rugosidade superficial de pilares localizadores antes e depois de escovação simulada com diferentes dentifrícios para fazer recomendações para pacientes que possuem estes. Localizadores ao nível ósseo em pilares de overdenture foram avaliados com um microscópio confocal à laser para determinar o grau de rugosidade da superfície (Ra). Dois dentifrícios de diferentes abrasividades (Colgate Total e Crest ProHealth) e água deionizada foram utilizadas como o meio de escovação. Cada dentifrício foi misturado com água a uma razão de 1:2. Os pilares foram escovados usando escovas de dente com cerdas de nylon macias por 30.000 ciclos em um simulador de escovação ZM-3.12, que pode ser interpretado como 3 anos de uso regular de escovação. Foi aplicada uma força de escovação de 3N sob uma frequência de 2Hz em uma amplitude de 10 mm dos movimentos da escova durante o ensaio de abrasão. Pilares localizadores demonstraram aumento significativo em rugosidade superficial depois de serem submetidos à escovação, independente do meio de escovação. Dentifrícios clareadores causou mais rugosidade superficial significativa do que em dentifrícios não abrasivos e água deionizado. Água deionizada resultou no menor aumento de rugosidade superficial.

Sakae et al. (2024) [64] realizaram a análise da influência de dentifrícios contendo estanho em sua composição no controle do desgaste dental erosivo em esmalte e dentina. Cortes de tecido de esmalte dentário e tecido dentinário foram distribuídos aleatoriamente em 7 grupos (n = 10/substrato): grupo controle negativo (saliva artificial), grupo controle positivo (dentifrício convencional sem estanho na composição), grupo com dentifrício contendo SnF<sub>2</sub> / NaF, grupo com dentifrício contendo SnF<sub>2</sub> / NaF / SnCl<sub>2</sub>, grupo com dentifrício contendo SnCl<sub>2</sub> / NaF, grupo contendo SnF<sub>2</sub> / SnCl<sub>2</sub> e grupo contendo SnCl<sub>2</sub> / AmF / NaF / quitosana. Os espécimes foram submetidos a ciclos erosivo-abrasivos por 5 dias. O estudo não relatou a frequência ou a amplitude dos movimentos de escovação durante a ciclagem erosiva-abrasiva. Os resultados constataram que a maioria dos dentifrícios que possuíam estanho em sua composição provocaram uma influência significativa sobre a redução do desgaste dental erosivo.

Augusto e colaboradores (2024) [65] avaliaram o efeito das soluções contendo polímero aminometacrilato (AA) e fluoreto de sódio (F; 225 ppmF) ou fluoreto mais Cloreto de Estanho (FSn; 225ppmF, 800ppmSn) no desafio erosivo/abrasivo contra esmalte e dentina. Soluções de F, FSn, AA, F+AA e água deionizada como controle negativo foram testados. Espécimes de

esmalte e dentina bovinos foram submetidos a ciclos de erosão-abrasão (ácido cítrico 0.3%, 5 minutos, 4x/dia, saliva artificial 1h, 4x/dia, escovação por 15 segundos, 2x/dia e tratamentos por 2 minutos, 2x/dia) para cada, por cinco dias. A força aplicada durante a escovação foi de 2N com uma amplitude de 30mm de movimento da escova durante o ensaio de abrasão, no entanto, o estudo não informou o parâmetro da frequência escolhido para o experimento. Erosão de esmalte inicial foi avaliada usando microdureza de Knoop depois do primeiro e segundo desafio erosivo no primeiro dia, e perda de superfície com perfilometria depois do quinto dia. A combinação de fluoreto e AA resultou em uma proteção melhor contra erosão do esmalte dentário, enquanto isso não foi o caso para a combinação de AA e FSn. Todos os tratamentos protegeram contra desgaste do esmalte e da dentina.

A breve revisão supracitada reforça a inexistência de uma boa definição dos parâmetros cinéticos para serem adotados em testes de escovação simulada. As variáveis frequência (Hz – número de ciclos/segundo), a força aplicada (normalmente, a força peso, em N ou gramas), a amplitude do movimento da escova (em mm) e a posição do espécime em relação a escova apresentam grande variação nos estudos. A heterogeneidade entre os parâmetros escolhidos para o mesmo tipo de teste pode inviabilizar a comparação dos resultados entre estudos, especialmente relacionado a perda de superfície advindo do desgaste abrasivo ou a rugosidade superficial. Definir um protocolo reproduzível, aplicável para estudos com diferentes variáveis e que permita a comparação entre variáveis a serem avaliadas, tais como dentifrícios, tecidos orgânicos e materiais aplicados na odontologia é importante para gerar dados úteis para prática e indicação clínica.

#### **1.4 Considerações finais**

O desgaste dental é um processo multifatorial que envolve diferentes mecanismos, sendo a abrasão um componente relevante, porém ainda subestimado e pouco padronizado nos estudos experimentais. Embora a literatura evidencie a importância de fatores como força, frequência, amplitude e número de ciclos na escovação simulada, a ampla variação metodológica observada dificulta a comparação entre os estudos e compromete a aplicação clínica dos resultados. Diante disso, torna-se essencial o estabelecimento de protocolos experimentais mais consistentes e reprodutíveis, que considerem tanto os aspectos tribológicos quanto as condições reais de uso, a fim de gerar dados mais robustos e clinicamente relevantes para a prevenção e manejo do desgaste abrasivo.

## **Capítulo 2 - Influência dos parâmetros cinéticos utilizados em ensaios de abrasão simulada no desgaste da dentina**

### **Resumo**

Este estudo avaliou o impacto de diferentes parâmetros cinéticos utilizados em ensaios de abrasão no desgaste da dentina. Para tal, 210 amostras de dentina bovina (4 x 4mm) foram embutidas em resina acrílica, planificadas e polidas, e submetidas ao teste de abrasão com diferentes parâmetros de frequência (1Hz-2Hz), amplitude (10mm e 20mm) e posição frente ao centro da cabeça da escova (1 - atrás, 2 - a frente, e 3 - centralizada), totalizando 12 grupos (n=10). Dispositivos de posicionamento foram personalizados para este estudo. O desgaste ( $\mu\text{m}$ ) e a rugosidade (Ra) foi avaliado por Microscopia Confocal a Laser, mensurados após 5 mil, 10 mil e 20 mil ciclos de abrasão. Um volume padrão de suspensão de dentífrício (Colgate Tripla Ação, proporção 1:3, saliva artificial) foi utilizada. A análise descritiva foi realizada por meio do cálculo da média e do desvio padrão, e a comparação entre os grupos feita por meio do teste Kruskal-Wallis, e teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner ( $\alpha=0.05$ ). Houve diferença significativa no desgaste em função do número de ciclos ( $p < 0,001$ ) e da amplitude ( $p=0,001$ ) mas não para a frequência ( $p = 0,166$ ) para o desgaste. O aumento da amplitude e do número de ciclos promoveu maior desgaste, independentemente da posição. A influência da posição depende da frequência e amplitude, sendo que nos grupos 2Hz/10mm, posição 3 promoveu maior desgaste que a posição 1 após 20 mil ciclos; para 1Hz/ 10 mm isso ocorreu após 10 mil ciclos; para 2Hz/20mm isso aconteceu após 5 mil ciclos. Apenas para 2Hz/20mm não houve diferença significativa entre as posições da escova. Para rugosidade observou-se que

Conclui-se que o aumento da frequência de escovação e o posicionamento do espécime frente à escova tiveram menor influência no desgaste e na rugosidade, enquanto a amplitude de escovação foi mais relevante e deve ser padronizada entre os estudos.

**Palavras-chave:** Abrasão Dentária, Desgaste Dentário, Dentífrício, Dentina.

**Abstract**

This study evaluated the impact of different kinetic parameters used in abrasion tests on dentin wear. To this end, 210 bovine dentin samples (4 x 4 mm) were embedded in acrylic resin, flattened and polished, and subjected to abrasion testing with varying parameters of frequency (1 Hz and 2 Hz), position relative to the center of the toothbrush head (1 – posterior, 2 – anterior, and 3 – centered), and amplitude (10 mm and 20 mm), totaling 12 groups (n=10). Positioning devices were custom-designed for this study. Wear ( $\mu\text{m}$ ) was assessed using Confocal Laser Scanning Microscopy, measured after 5,000, 10,000, and 20,000 abrasion cycles. A standardized volume of dentifrice slurry (Colgate Triple Action, 1:3 ratio with artificial saliva) was used. Descriptive analysis was performed by calculating the mean and standard deviation, and group comparisons were conducted using the Kruskal-Wallis test followed by the Dwass-Steel-Critchlow-Fligner test ( $\alpha=0.05$ ). Significant differences in wear were observed as a function of the number of cycles ( $p < 0.001$ ) and amplitude ( $p = 0.001$ ), but not for frequency ( $p = 0.166$ ). An increase in both amplitude and the number of cycles resulted in greater wear, regardless of position. The influence of position depended on frequency and amplitude: in the 2 Hz/10 mm group, position 3 resulted in greater wear than position 1 after 20,000 cycles; for 1 Hz/10 mm, this occurred after 10,000 cycles; and for 2 Hz/20 mm, after 5,000 cycles. Only in the 2 Hz/20 mm group was there no significant difference between toothbrush positions.

In conclusion, the increase in brushing frequency and specimen positioning relative to the brush had less impact on wear, whereas brushing amplitude was more relevant and should be standardized across studies.

**Keywords:** Dental Abrasion, Tooth Wear, Dentifrice, Dentine.

## 2.1 Introdução

O desgaste dental é definido como a perda cumulativa da superfície mineralizada do tecido dentário duro causada por processos físicos ou químico-físicos, relacionados a própria fisiologia, a hábitos parafuncionais, a doenças orais, como cárie e lesões não cariosas, a profilaxia ou mesmo ação odontológica, como em preparos cavitários ou polimento (2024). Os níveis de desgaste dentário possuem uma associação linear direta com a idade do indivíduo, sendo que a severidade aumenta de 3% aos 20 anos para 17% aos 70 anos [66]. [RZ22][UC23][UC24]Embora o desgaste possua a tendência de aumentar exponencialmente conforme indivíduo envelheça, outros fatores como a alimentação e os hábitos deletérios são considerados fatores de risco que agravam a perda de estrutura dentária. Um dos mecanismos de desgaste de interesse na odontologia é a fricção por abrasão. Este processo é resultado da perda física de tecido mineralizado provocado por objetos externos ao meio bucal, podendo ser de 2 ou 3 corpos, de igual ou diferente natureza [67][D25].

Os fenômenos mecânicos cotidianos considerados fator de risco para o desgaste dental abrasivo são os hábitos de higiene oral, isso inclui a escovação com dentífrícios fluoretados, parte fundamental das práticas de higiene bucal recomendada pelos dentistas. Na composição dos dentífrícios é usualmente encontrada uma combinação de abrasivos, responsáveis por facilitar a remoção do biofilme e manchas extrínsecas, além de promover polimento da superfície dental, auxiliando no processo de higiene bucal [68]. [D26]Uma revisão de escopo indicou que existe influência dos hábitos de higiene no desgaste dental em 38,5% dos estudos incluídos, e destes, 15,8% avaliaram particularmente a frequência da escovação e determinaram este parâmetro como significativo na perda de estrutura. De forma semelhante, o tempo de escovação (de 3 a 5 minutos), o tipo de escova (quanto ao tipo de cerdas) e o tipo de escovação (manual ou mecânica) também foram considerados fatores de risco [69]. [D27] A FDI (Federação Dental Internacional), uma organização internacional não-governamental que representa profissionais da odontologia desenvolvendo políticas de saúde e programas educacionais, recomenda o uso da técnica de escovação não-agressiva com escovas de cerdas macias associadas aos dentífrícios com baixa abrasividade (2024)[70][D28].

Estudos in vitro na odontologia que visam avaliar o desgaste de tecido dentário ou mesmo de materiais restauradores tipicamente utilizam máquinas automáticas de escovação simulada. No entanto, devido à variabilidade de simuladores de escovação utilizados para pesquisa odontológica, e a diversa variedade de parâmetros e configurações existentes para cada um

deles que nem sempre são semelhantes entre si, a literatura apresenta diversos estudos com diferentes protocolos para avaliar os efeitos e impacto da escovação e abrasão na superfície e tecidos e materiais. Algumas máquinas de escovação permitem regular a aplicação de força mensurada baseada no peso dos braços das estações [71][D29], a quantidade de ciclos avaliados em estudo também é considerada muito variável, podendo ser desde 2,500 ciclos até 80,000 ciclos, na maioria dos casos sem uma justificativa se a definição da quantidade da ciclagem é material-dependente [72][73],[D30]

A quantificação do desgaste de amostras, seja de tecidos orgânicos ou materiais sintéticos, frente aos desafios abrasivos possui grande heterogeneidade de resultados de perda de superfície e rugosidade superficial, independente do objeto de estudo avaliado. Além disso, ainda não foi consolidado na literatura atual um protocolo de escovação para otimizar esses resultados e permitir uma comparação fidedigna entre estudos que seja reprodutível e livre de fatores confundidores que possibilitem o viés.

## **2.2. Objetivos**

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da frequência (Hz), da amplitude do movimento (mm) e da posição da amostra frente à escova (posicionada antes, depois ou centralizada na cabeça da escova) na perda de superfície e na rugosidade superficial. A hipótese nula ( $H^0$ ) testada foi que a frequência, a amplitude e o posicionamento da amostra não influenciam no desgaste e na rugosidade superficial da dentina.

## **2.3. Metodologia**

### *2.3.1 Confeção das amostras*

O presente estudo experimental in vitro utilizou amostras de dentina obtidas da porção cervical da raiz de dentes incisivos bovinos, cortadas em formato quadrangular 4 mm x 4 mm, com um disco diamantado de dupla face (Figura 1). Os dentes bovinos foram obtidos em um frigorífico credenciado autorizado, e se tratando de um substrato comercialmente viável, obtido de carcaças de animais abatidos para consumo humano, não requer autorização de comissão

ética institucional (Lei Arouca 11.794/2008) [74]. [D31]As amostras de dentina foram cortadas na região cervical vestibular e lingual de cada raíz e embutidas em formato circular com auxílio de um molde de silicone de adição, com espaços de medidas internas de 8 mm de diâmetro e 3 mm de espessura (Figura 2). O embutimento das amostras de dentina foi em resina acrílica quimicamente ativada (RAAQ).

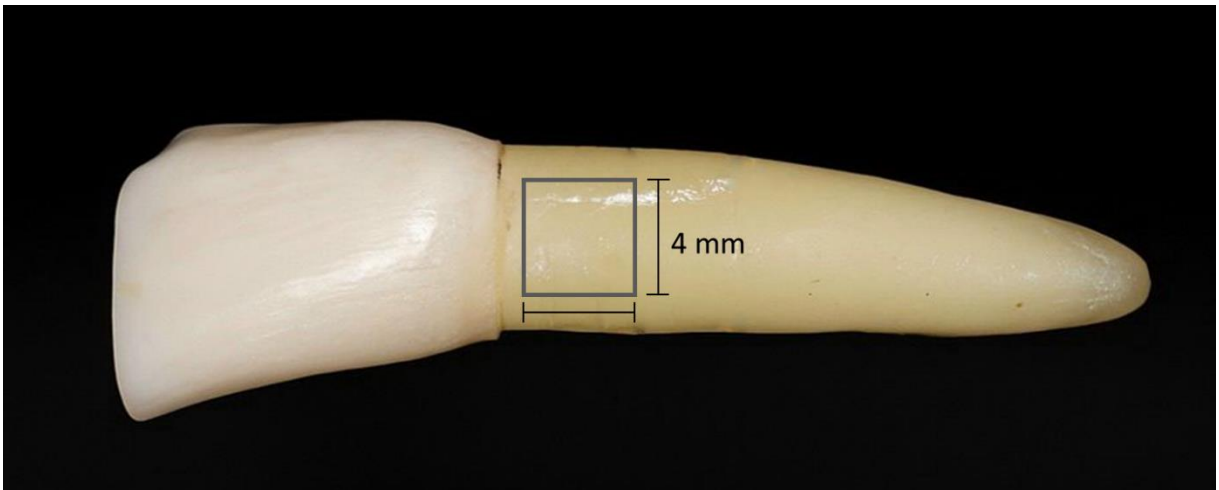


Figura 2 - Dente bovino com marcações quadrangulares na porção radicular em grafite de uma lapiseira mensurando 4 mm x 4 mm. A região escolhida para extração das amostras de dentina foi a cervical na porção vestibular, porção direita e porção esquerda.

O formato da amostra foi de discos com uma “meia-lua” em uma de suas extremidades a fim de padronizar o posicionamento das mesmas na máquina, garantindo sempre a mesma direção de movimento da escova (Figura 3). Para minimizar a formação de bolhas nos espécimes, as amostras foram colocadas em uma panela ortodôntica N° 1 sob pressão de 30 Ba até a presa da RAAQ.

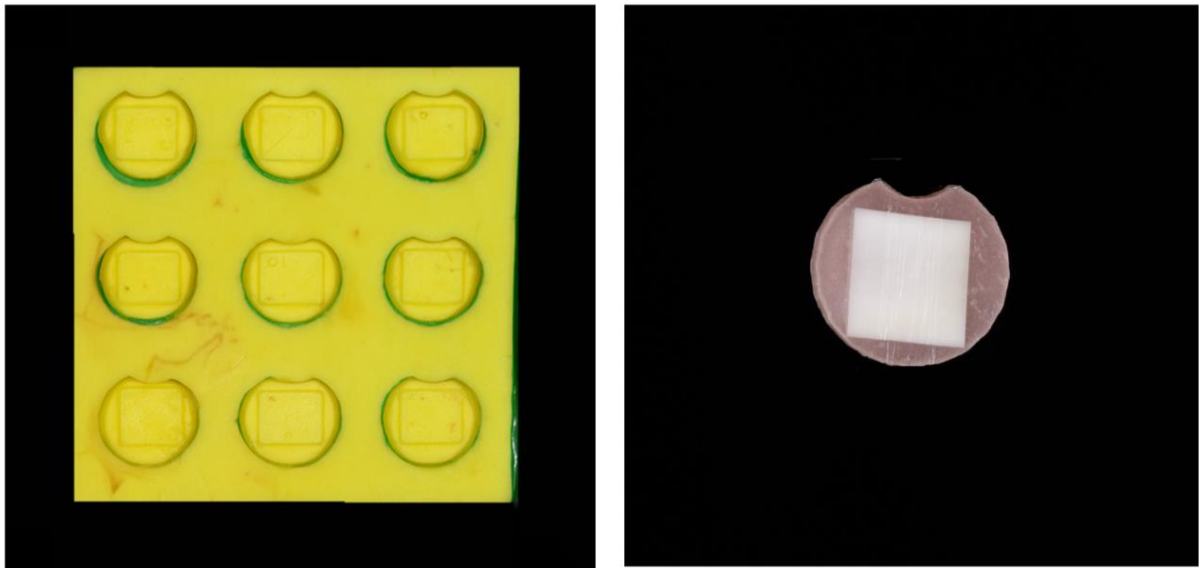


Figura 3 - Molde confeccionado em material de silicone de adição, utilizado para a fabricação das amostras. Este item auxiliou no embutimento dos fragmentos quadrangulares de tecido dentinário em RAAQ.

Todos os espécimes foram submetidos ao mesmo protocolo de acabamento e polimento, utilizando as lixas d'água com granulação na sequência: #600, #800 e #1200, em politriz circular (Modelo PVV30, Teclago) com velocidade padronizada em 300 RPM. No final, todas as amostras possuíam 2 mm de altura, superfícies planas, lisas e brilhantes e com faces paralelas entre si. Após a confecção, as amostras foram armazenadas em estufa a 37°C até o momento do uso.

### 2.3.2 Divisão dos Grupos

Para divisão dos grupos, foi mensurado a microdureza de todas as amostras com indentador Vickers em microdurometro (DuraScan20, Zwick Roell). Foi utilizado carga de 25g e tempo de indentação de 10 segundos, considerando a média entre duas mensurações em cada amostra. O valor médio da microdureza Vickers foi de 30.83 ( $\pm 4,46$ ), sendo que amostras com discrepância superior ou inferior a 20% da média foram substituídas.

Após essa etapa as amostras foram estratificadas em 12 grupos (n=10) considerando o posicionamento da amostra na máquina de escovação (posições 1, 2 e 3), a velocidade de escovação (frequência de 1Hz ou 2 Hz) e a amplitude de escovação (10 mm ou 20 mm) conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - - Organização dos Grupos

Grupo	Dispositivo	Amplitude	Frequência	Posição	N
1	Duplo (2 amostras)	10mm	2Hz	1	10
2	Duplo (2 amostras)	10mm	2Hz	2	10
3	Duplo (2 amostras)	20mm	2Hz	1	10
4	Duplo (2 amostras)	20mm	2Hz	2	10
5	Único (1 amostra)	10mm	2Hz	3	10
6	Único (1 amostra)	20mm	2Hz	3	10
7	Duplo (2 amostras)	10mm	1 Hz	1	10
8	Duplo (2 amostras)	10mm	1 Hz	2	10
9	Duplo (2 amostras)	20mm	1Hz	1	10
10	Duplo (2 amostras)	20mm	1Hz	2	10
11	Único (1 amostra)	10mm	1Hz	3	10
12	Único (1 amostra)	20mm	1Hz	3	10

Para posição da amostra foram confeccionados dois tipos de receptáculos, sendo o primeiro um receptáculo duplo (Figura 4), no qual duas amostras eram escovadas simultaneamente, sendo uma posicionada atrás do centro da escova (posição 1) e outra a frente dele (posição 2). No segundo tipo de receptáculo, apenas uma amostra era escovada sozinha, sendo posicionada com seu centro coincidindo com o centro da escova (posição 3), conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4 - Receptáculos fabricados em material sintético de PLA. Dois receptáculos diferentes foram confeccionados buscando avaliar a influência da posição da amostra frente à escova de dente durante o ensaio de abrasão. O receptáculo do tipo duplo permitiu o encaixe de 2 amostras em seus dois nichos, assim, sendo possível escovar duas amostras simultaneamente em uma posição posterior (posição 1) e anterior (posição 2) à escova de dente. Já o receptáculo do tipo único permitiu o encaixe de somente

uma amostra em seu nicho único em uma posição centralizada (posição 3) relativa ao centro geométrico da cabeça da escova de dente.

Cada um dos grupos possuía suas respectivas escovas de dente, as quais foram enumeradas, assim, evitando a possibilidade de trocas entre grupos. Para cada grupo, a mesma escova de dente foi utilizada durante todos os ciclos. Todas as escovas de dente foram marcadas com uma ponta diamantada acoplada em peça reta para determinar a posição onde a escova de dente seria acoplada na estação (grip) durante todos os ensaios de escovação, esse posicionamento foi padronizado para todas as escovas. Foram feitas três marcações em cada uma das escovas de dente. Uma marcação foi feita no centro geométrico da cabeça da escova com uma distância de 13 mm padronizadas de uma das extremidades da cabeça da escova, e outra marcação a uma distância de 18 mm também padronizada da extremidade da haste da escova de dente (Figura 5).



Figura 5 - Escovas de dente MedFio devidamente enumeradas e com três marcações definidas. Uma marcação no centro geométrico da cabeça da escova para delimitar o posicionamento centralizado em relação à superfície das amostras. Enquanto as outras duas demarcações na haste sinalizavam a posição definida para o rosqueamento das escovas de dente nas estações do simulador de ensaio abrasivo.

Todas as escovas utilizadas tinham cerdas macias compostas de nylon, com 4 fileiras de tufos, contendo 34 tufos de cerdas (Figura 6), aparadas uniformemente e arredondadas na mesma altura, cabo reto anatômico, medindo 17cm de comprimento (MedFio, Brasil). Após a ciclagem realizada no estudo observou leve desgaste das cerdas.

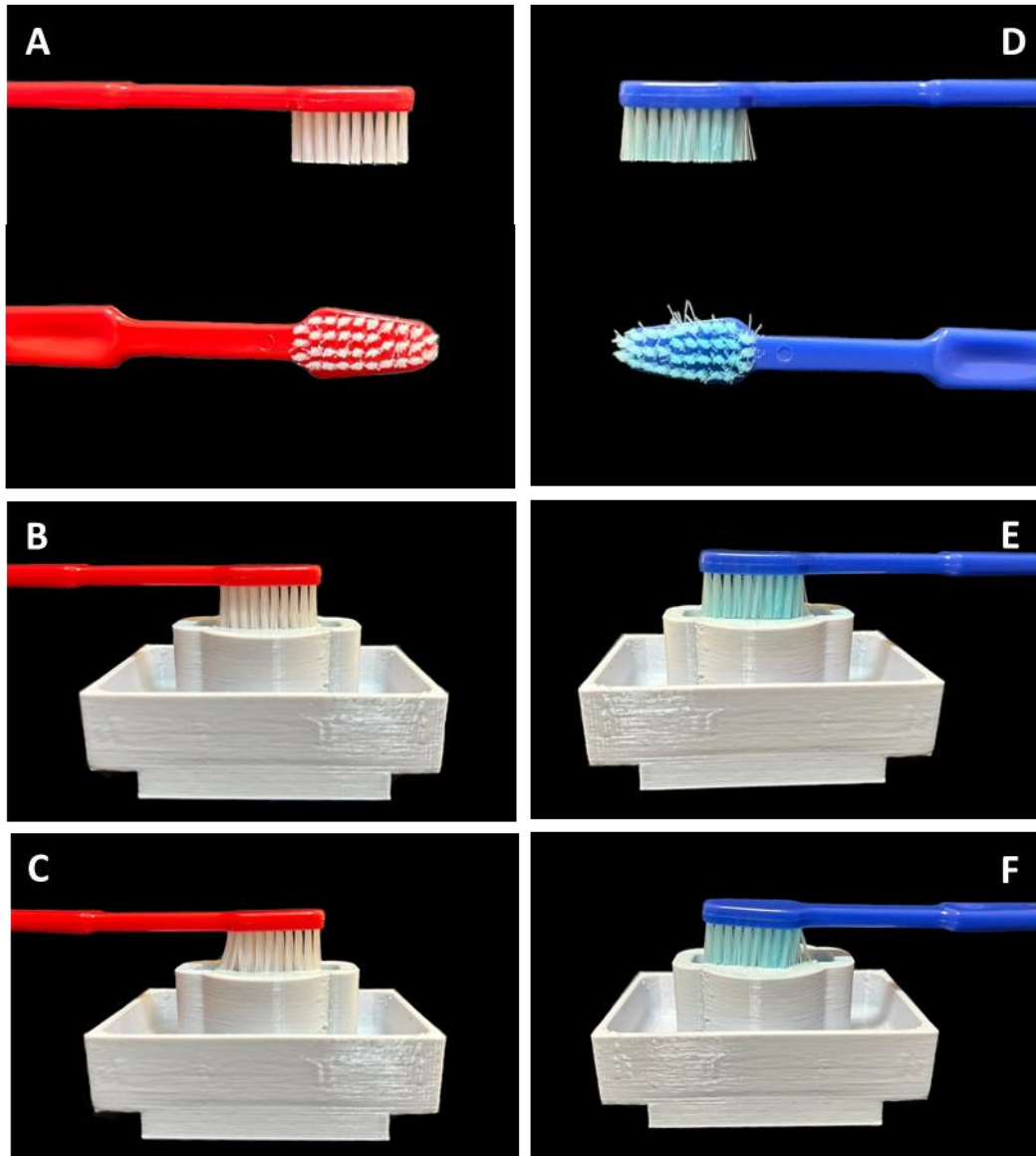


Figura 6 – A) Cabeça da escova nova, mostrando a distribuição dos tufos de cerdas. B) Escova nova posicionada sobre o dispositivo, mostrando o posicionamento das cerdas perpendicular à área de escovação e em C) a mesma situação com a força peso do braço mecânico de escovação mostrando a leve flexão e deformação das cerdas sobre as amostras. D) Cabeça da escova após 20 mil ciclos de escovação mostrando leve desgaste das cerdas. E e F mostram a mesma situação apresentada em A e B, respectivamente, com a escova após os 20 mil ciclos de escovação.

Outro fator de controle importante foi implementado para assegurar a padronização do posicionamento dos dispositivos e, conseqüentemente, dos receptáculos e as amostras inseridas

neles, frente às escovas de dente. Os dispositivos colocados sobre a base magnética da máquina de simulação de escovação (MEV4 10XY, Odeme Dental Research, Brasil) foram dispostos a uma distância de 1 mm da régua posicionada em uma das extremidades da superfície da base. Foi utilizado um esquadro que, além de certificar o correto posicionamento de todos os dispositivos, também garantiu o alinhamento vertical e paralelismo na posição entre os dispositivos. Essa padronização foi considerada especialmente de suma importância, pois assim o operador certifica-se que todas as amostras foram submetidas ao ensaio de abrasão a partir do mesmo posicionamento e com a cabeça da escova de dente posicionada estrategicamente no centro geométrico do receptáculo. Portanto, todas as amostras possuíram a mesma quantidade de superfície de contato com as cerdas das escovas de dente em todas as ciclagens (5.000 ciclos, 10.000 ciclos e 20.000 ciclos) do ensaio de abrasão (Figura 7).

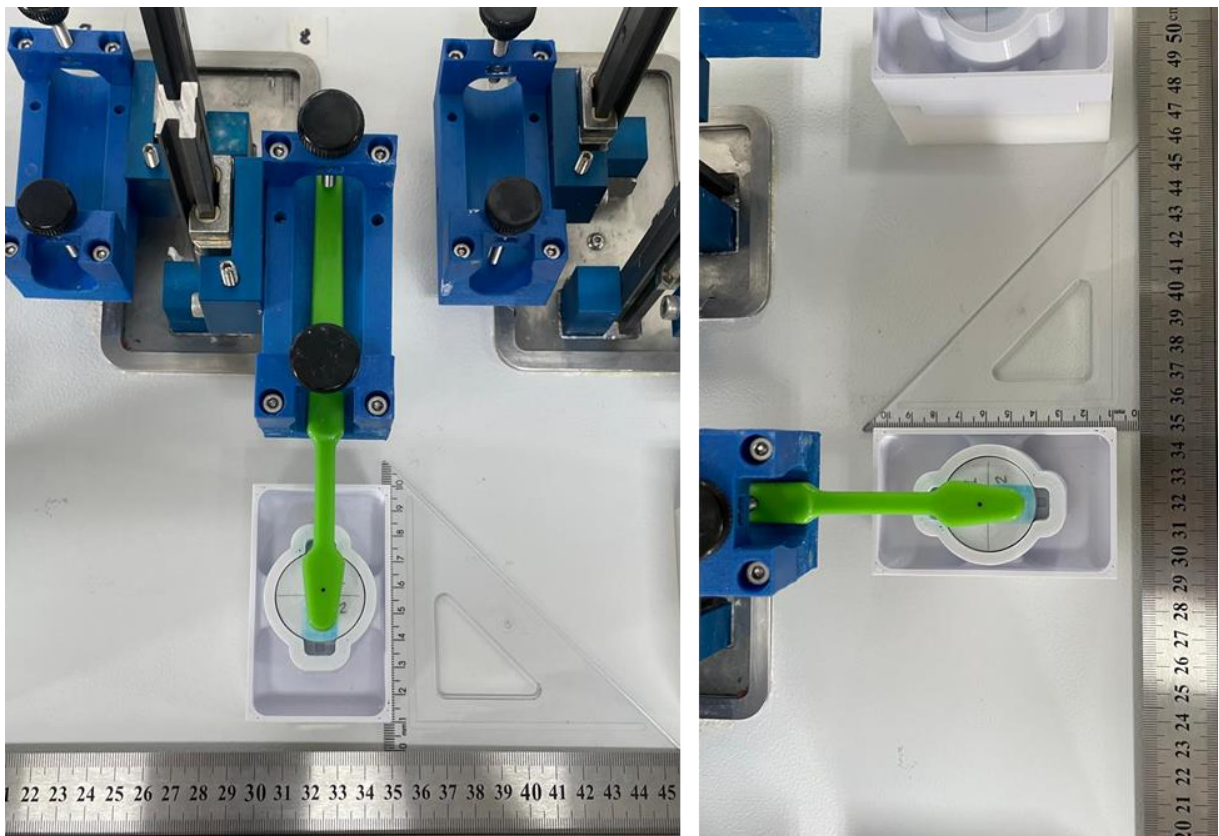


Figura 7 - Posicionamento dos dispositivos sobre a base magnética da máquina de simulação de escovação a 1 mm da régua. O esquadro auxiliou no alinhamento e correto posicionamento do dispositivo. Posição da cabeça da escova de dente devidamente alinhando seu centro geométrico com o do receptáculo inserido no dispositivo.

### 2.3.3 Escovação Simulada – teste de abrasão

Neste estudo foi utilizada a máquina de simulação de escovação MEV4 10XY (Odeme Dental Research, Brasil), a qual possui 10 estações de escovação e permite a configuração dos seguintes parâmetros do ensaio de escovação: o tipo de movimento feito pela escova, a amplitude do movimento (mensurado em mm), a frequência (mensurada em Hz) e o número de ciclos (ciclos por segundo). Neste estudo foi escolhidos movimentos verticais recíprocos (de “vai e vem”). A posição dos dispositivos de escovação acoplados na mesa magnética da máquina de escovação foi padronizado em todas as estações, com auxílio de uma régua milimetrada, garantindo o posicionamento sempre na mesma posição.

Foram fabricados 10 dispositivos de 8 cm x 4,7 cm x 2,5 cm em material rígido de PLA (filamentos biodegradáveis) por meio de impressora 3D (Figura 8). O suporte, também composto por PLA, é uma peça removível que compõe o dispositivo, ele tem função tanto na etapa da escovação quanto na posterior leitura do desgaste e rugosidade da superfície dentinária no microscópio. O suporte possui um ou dois nichos com formato discóide de 8 mm de diâmetro e 2 mm de profundidade onde foram encaixadas as amostras. Foram produzidos 5 suportes de 2 nichos para os experimentos que envolvem a posição 1 (anterior à escova) e a posição 2 (posterior à escova), e 5 suportes de 1 nicho para os experimentos que envolvem a posição 3 (centralizado na cabeça da escova).

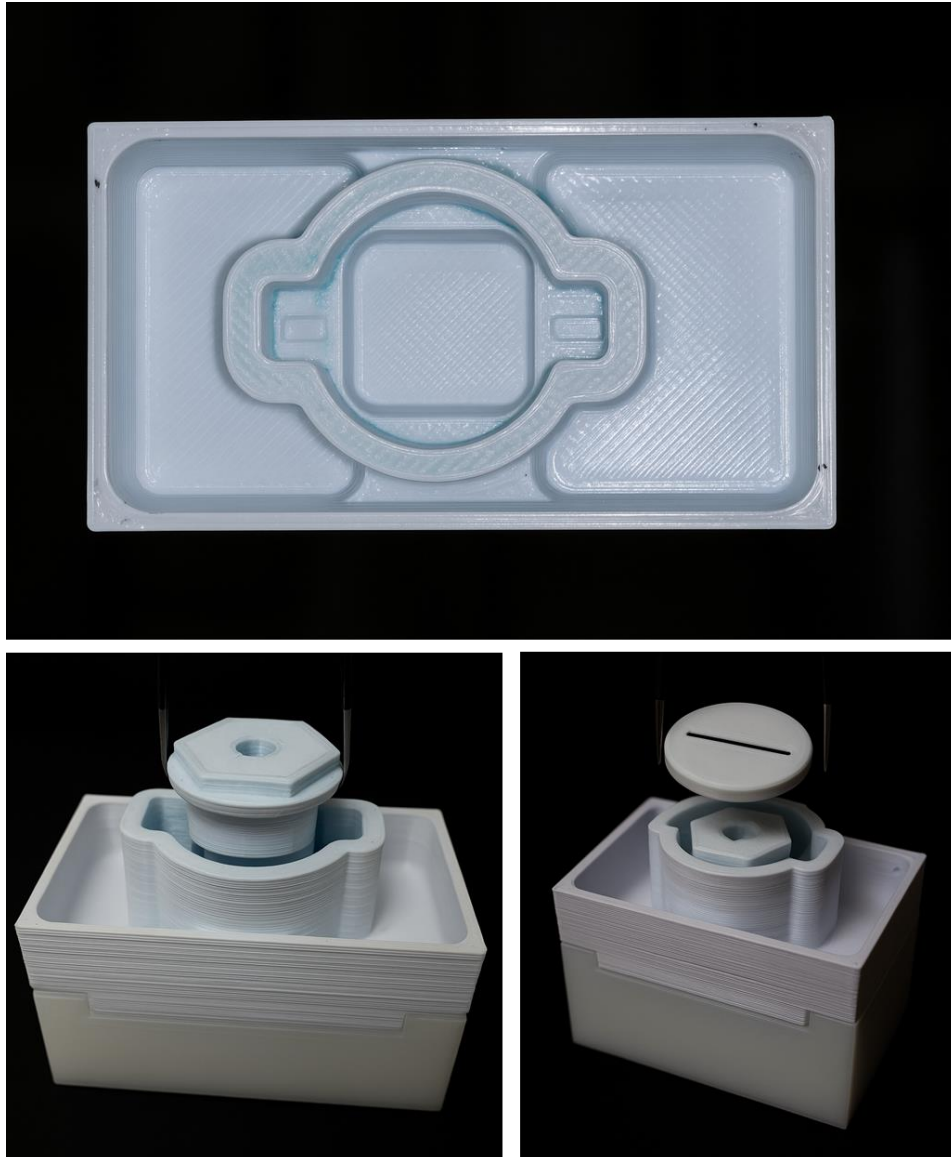


Figura 8 - Dispositivo confeccionado em material de PLA, esta peça era compatível com a base magnética da máquina de escovação e permitia o escoamento do slurry durante os movimentos oscilatórios lineares da escovação. O dispositivo possuía um encaixe adaptado para o receptáculo e a capa de proteção.

Por fim, também foi desenvolvida uma capa de proteção em material rígido de PLA com diâmetro de 25 mm com uma abertura retangular centralizada de 2 mm de largura e 18 mm de comprimento (Figura 9). Esta capa de proteção tinha como objetivo a proteção de duas extremidades da amostra de dentina e, através da abertura central, a exposição de 2 mm da superfície dentinária ao desgaste abrasivo provocado pelo movimento mecânico da escovação.

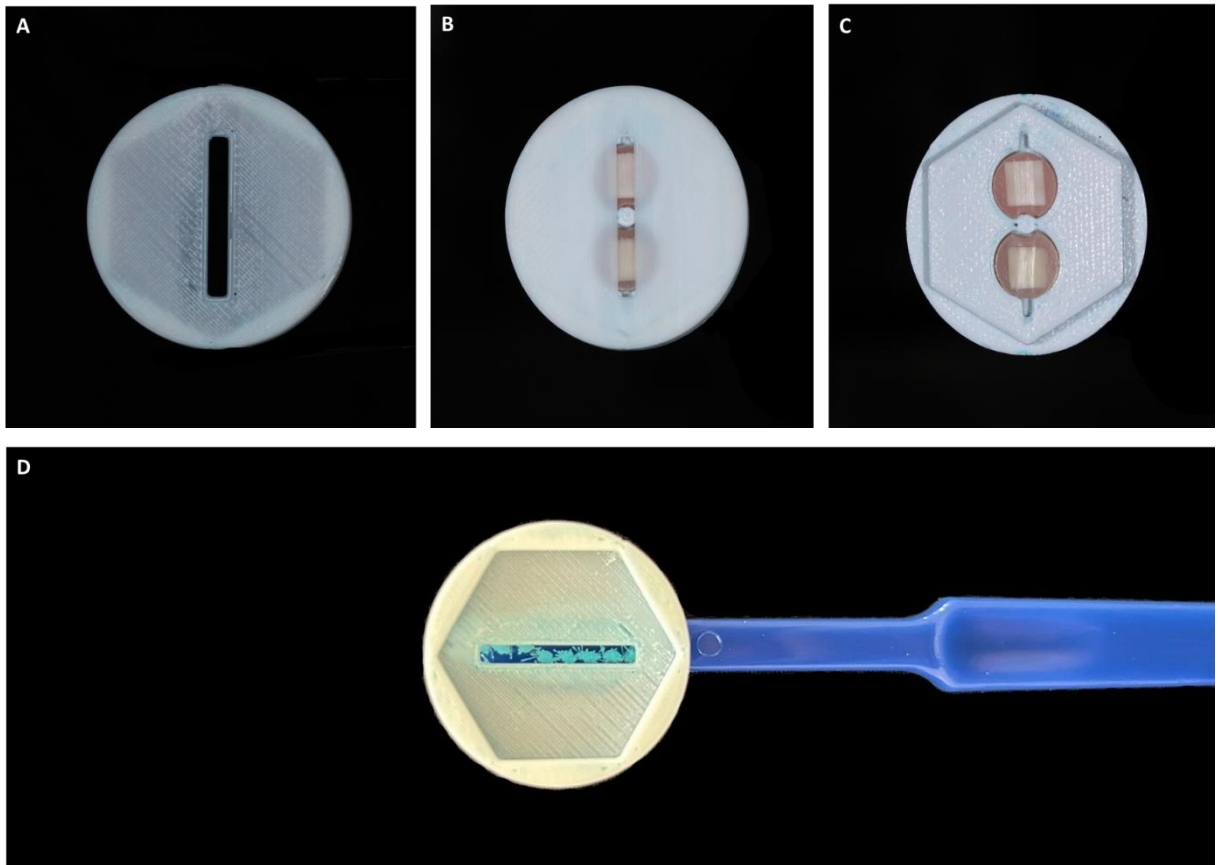


Figura 9 – A) [RZ32]capa de proteção fabricada em material de PLA tinha como objetivo proteger as extremidades das amostras e deixar exposta à ação da escovação 2 mm de superfície dentinária, assim, permitindo o desgaste pela ação de escovação associada ao dentífrício. B) Capa de proteção posicionada sobre o dispositivo. C) amostras escovadas, após 20 ciclos de escovação mostrando o desgaste central na região desprotegida pela capa protetora. D) posição das cerdas da escova numa visão interna à capa protetora.

Para fins de padronização, as amostras eram colocadas sempre no mesmo dispositivo, na mesma estação de escovação da máquina (nomeada "grip" neste estudo), e sempre com a mesma escova, isso foi certificado pela numeração das escovas. Foram utilizadas um total de 80 escovas de dente. A Tabela 2 apresenta o peso médio (gramas), o desvio padrão e o coeficiente de variação do conjunto “dispositivo de escovação (com parafusos) e escova” utilizado em cada grupo. O coeficiente de variação (CV) foi menor que 0,2% em todos os grupos.

Tabela 2 - Peso e Variação do conjunto: escova e “grip”.

Grupo (Sigla)	Peso médio (desvio padrão) - g	Coefficiente de Variação (%)
G1 (G1_1.2.10)	220.33 ( $\pm$ 0.32)	0.15%
G2(G2_2.2.10)	220.33 ( $\pm$ 0.32)	0.15%



G3 (G3_1.2.20)	220.38 ( $\pm$ 0.38)	0.17%
G4 (G4_2.2.20)	220.38 ( $\pm$ 0.38)	0.17%
G5 (G5_3.2.10)	220.26 ( $\pm$ 0.43)	0.20%
G6 (G6_3.2.20)	220.27 ( $\pm$ 0.39)	0.17%
G7 (G7_1.1.10)	220.27 ( $\pm$ 0.44)	0.20%
G8 (G8_2.1.10)	220.27 ( $\pm$ 0.44)	0.20%
G9 (G9_1.1.20)	220.25 ( $\pm$ 0.44)	0.20%
G10 (G10_2.1.20)	220.25 ( $\pm$ 0.44)	0.20%
G11 (G11_3.1.10)	220.21 ( $\pm$ 0.42)	0.19%
G12 (G12_3.1.20)		
	220.24 ( $\pm$ 0.45)	0.20%

A nomenclatura dos grupos buscou representar os parâmetros cinéticos definidos através de uma sigla que segue a seguinte lógica: GrupoX\_Posição da Amostra.Frequência.Amplitude.

Para a escovação, foi feita uma suspensão com um dentífrico padrão (slurry), sendo uma porção deste para 3 de saliva artificial, mensurado em peso em uma balança de precisão e homogeneizada em solução com o auxílio de um agitador magnético. O dentífrico escolhido para o estudo foi a Colgate Tripla Ação, que possui como componentes abrasivos o Carbonato de Cálcio e o Bicarbonato de Sódio e sua composição está na Tabela 3. A saliva artificial utilizada era composta por 0,213 g/l de Cloreto de Cálcio Di-hidratado do PA, 0,738 g/l de Fosfato de Potássio Monobásico, 1,114 g/l de Cloreto de Potássio, 0,381 g/l de Cloreto de Sódio e 12 g/l de Tampão TRIS, diluídos em água destilada (Pereira et al. 2023) [75][D33]. Foi utilizado um pHmetro de bancada (PHS3BW BEL) para ajustar o pH em 7 com o auxílio do gotejamento de soluções de ácido clorídrico (HCL, reduziu o pH) e de hidróxido de sódio (NaOH, aumentou o pH).

Tabela 3 -Composição do dentífrico utilizado no estudo - Colgate Tripla Ação (Colgate)

<b>Abrasivos</b>	Carbonato de Cálcio, Bicarbonato de Sódio
<b>Princípios ativos</b>	Monofluorofosfato de Sódio, Pirofosfato Tetrasódico
<b>Detergente</b>	Lauril Sulfato de Sódio
<b>Demais componentes</b>	Água, Sorbitol, Aroma, Goma Celulose, Álcool Benzílico, Sacarina Sódica, Goma Xantana, Hidróxido de Sódio, CI 74260, CI 74160

Utilizou-se uma micropipeta monocanal basic de 1000 $\mu$ L (K1-1000F, KASVI), certificada pela ISO 13485, para submergir a amostra na suspensão. Inicialmente foram

inseridos 2 mL da suspensão, quantidade suficiente para cobrir toda a superfície do espécime, e a cada 2500 ciclos foi acrescentado mais 1 mL para todos os espécimes.

Todos os espécimes foram submetidos a 5.000, 10.000 e 20.000 ciclos de escovação, o que corresponde a aproximadamente 6, 12 e 24 meses, respectivamente, de escovação dental (O'Brien et al. 1984).

#### *2.3.4 Mensuração do desgaste abrasivo e rugosidade*

Para a avaliação da perda de superfície dentária mensurada em  $\mu\text{m}$  (micrômetros), os espécimes foram inseridos em um suporte para garantir a planicidade do espécime no momento da leitura da superfície. Foi utilizado o programa OLS4100 LEXT Analysis Software (Olympus) associado ao Microscópio Confocal à Laser LEXT OLS4000 (Olympus), sob uma lente de aumento 20X, com a seguinte configuração: modo step, pitch 1.000, leitura óptica com iluminação definida entre 50-55, e na leitura do laser definida a iluminação entre 75-80. Foi padronizado em todas as leituras a avaliação de 6 quadrantes centralizados horizontalmente no centro geométrico da amostra na etapa “stitching” (Figura 10).

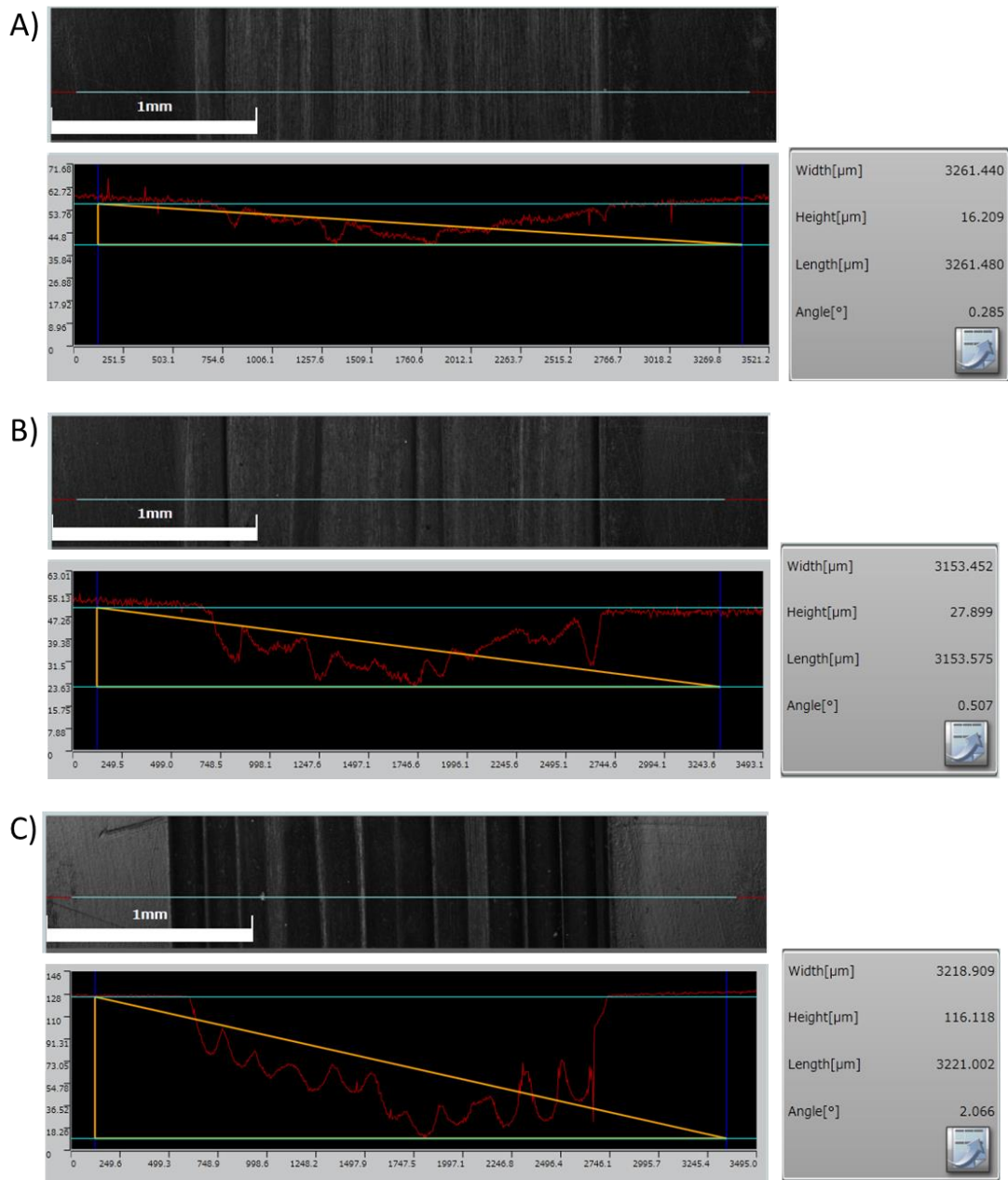


Figura 10 - Avaliação da perda de superfície (PS) mensurada em  $\mu\text{m}$ . Este exemplo gráfico ilustra a formação do degrau provocado pela ação do desgaste advindo da escovação. A diferença de altura entre a superfície protegida do espécime e a área submetida à abrasão é mensurada pela variável quantitativa "Height", e este valor foi registrado como a representação de PS mensurada em  $\mu\text{m}$ . Foram registrados para ilustrar o aumento exponencial do desgaste conforme os ciclos de escovação aumentaram (5.000 ciclos, 10.000 ciclos e 20.000 ciclos) o exemplo ocorrido na amostra dentinária 21, submetida a uma escovação de amplitude 20 mm, frequência de 1 Hz e localizada na posição 2 (inserida em receptáculo duplo) durante todos os ensaios de escovação. A) Após 5.000 ciclos, a amostra apresentou uma perda de superfície (PS) de 16.209  $\mu\text{m}$ . B) Após 10.000 ciclos, a amostra apresentou uma perda de superfície de 27.899  $\mu\text{m}$ . C) Após 20.000 ciclos, a amostra apresentou uma perda de superfície de 116.118  $\mu\text{m}$ .

Após cada tempo de ciclagem (5K, 10K e 20K), as amostras foram avaliadas para observar o aumento exponencial do desgaste. Para evitar a troca entre os espécimes e garantir a padronização, todas foram identificadas e posicionadas sempre na mesma direção.

As análises foram feitas com uma leitura horizontal (eixo x) da superfície amostral, com uma linha centralizada no centro geométrico do espécime incluindo as duas superfícies protegidas e a superfície desgastada exposta aos movimentos abrasivos da escovação, onde é possível observar um “degrau” consequente desta exposição. Todos os dados do desgaste mensurados em  $\mu\text{m}$  foram armazenados e organizados em uma planilha.

### *2.3.5 Rugosidade Superficial*

Para a avaliação da rugosidade superficial em Ra, os espécimes foram posicionados em suporte para garantir a planicidade durante a leitura. Utilizou-se o software OLS4100 LEXT Analysis do Microscópio Confocal a Laser Olympus, com lente de 50X, no modo step e pitch 1.000. A iluminação foi ajustada entre 50–55 na leitura óptica e 75–80 na leitura a laser. Foram analisados dois quadrantes centralizados horizontalmente no centro geométrico da amostra na etapa de “stitching”. A mensuração do Ra (rugosidade média aritmética) seguiu a norma ISO 4287, com cutoff de 80.0 micrômetros (Figura 11). A leitura de rugosidade foi feita perpendicularmente à direção de escovação.

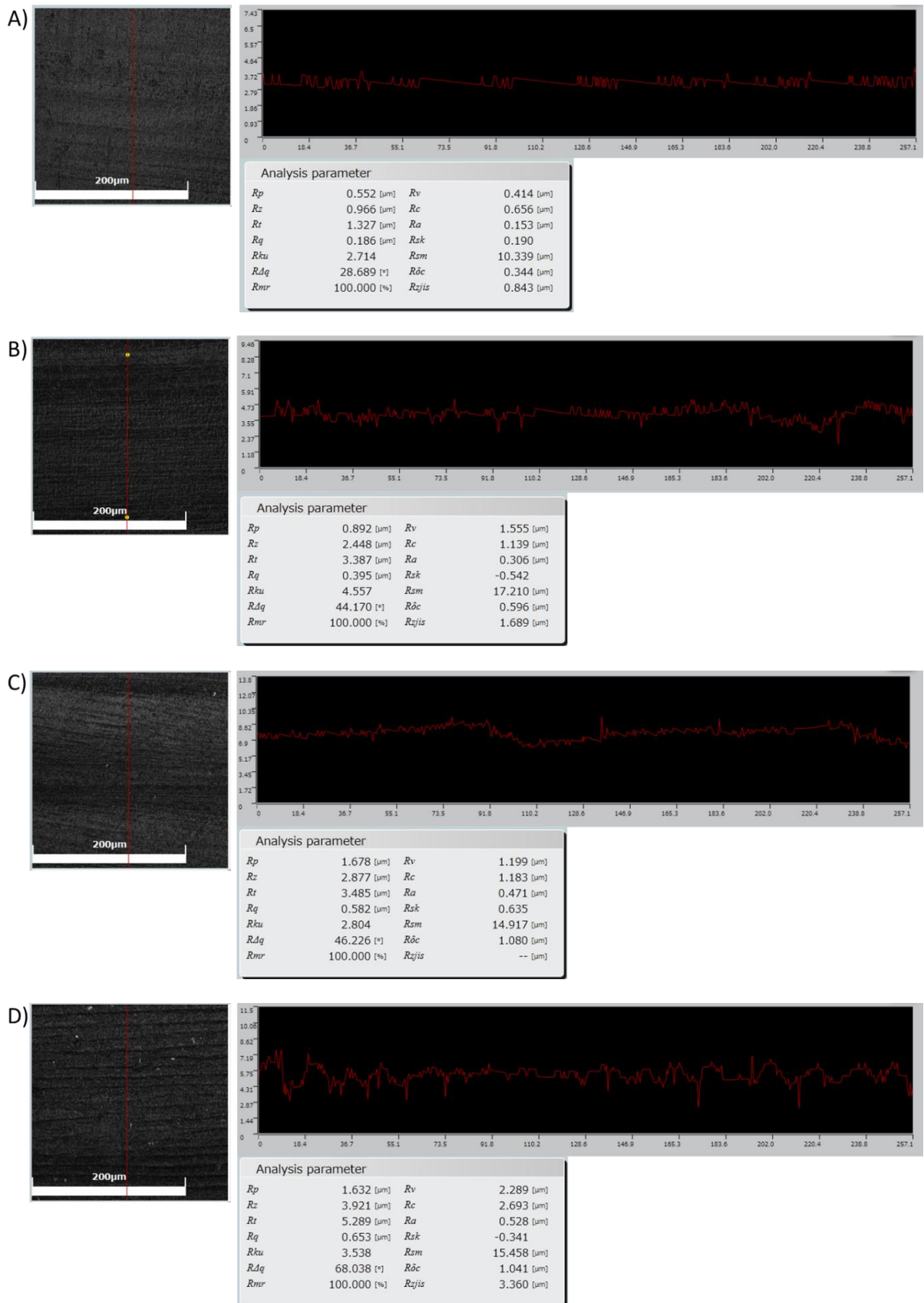


Figura 11 - Avaliação da rugosidade superficial (RS) mensurada em Ra. Este exemplo gráfico ilustra as alterações da superfície do tecido dentinário provocadas pela ação das cerdas da escova de dente, em

conjunto com a ação do slurry, durante seus movimentos oscilatórios lineares no ensaio de abrasão. Foram registrados para ilustrar o aumento exponencial da rugosidade superficial conforme os ciclos de escovação aumentaram (5.000 ciclos, 10.000 ciclos e 20.000 ciclos) o exemplo ocorrido em uma amostra dentinária 8, submetida a uma escovação de amplitude 20 mm, frequência de 1 Hz e localizada na posição 3 (receptáculo único) durante todos os ensaios de escovação. A) No início dos experimentos e na superfície protegida pela capa protetora, a amostra apresentou uma rugosidade superficial inicial ( $RS_0$ ) de 0.153 Ra. B) Após 5.000 ciclos, a amostra apresentou uma rugosidade superficial (RS) de 0.306 Ra. C) Após 10.000 ciclos, a amostra apresentou uma rugosidade superficial de 0.471 Ra. D) Após 20.000 ciclos, a amostra apresentou uma rugosidade superficial de 0.528 Ra.

Após cada tempo de ciclagem (5K, 10K e 20K), as amostras foram avaliadas quanto à rugosidade das áreas protegidas pela capa do dispositivo e da região exposta à abrasão. Para garantir padronização, todas foram identificadas e posicionadas na mesma direção. As análises consistiram em uma leitura perpendicular à direção das cerdas da escova e centralizada no centro geométrico do espécime, abrangendo as duas superfícies protegidas e a área desgastada. Os valores de rugosidade (Ra) foram registrados e organizados em uma planilha.

### 2.3.6 Análise estatística

A estatística descritiva foi realizada a partir do cálculo das médias e desvio padrão. Para a estatística inferencial foi observado a normalidade e homogeneidade dos dados a partir dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, os quais indicaram que os dados foram não paramétricos. Para avaliação da frequência, amplitude e posição foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, separadamente para cada posição de amostras e número de ciclos, seguido do teste pos hoc de Dwass Steel Critchlow-Fligner. Para todas as análises o software Jamovi (v2.6, The Jamovi Project) foi utilizado, considerando  $p < 0.05$ .

## 2.4. Resultados

Para avaliação da influência da frequência e amplitude de movimentos no desgaste e na rugosidade, observou-se que não houve normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade (Levene) entre os dados. Assim, foi realizado a comparação entre os grupos por meio da análise de variância não paramétrica por meio do teste de Kruskal-Wallis em cada um dos tempos avaliados (ciclagem), seguido do teste para comparação múltipla de Dwass Steel Critchlow-Fligner. Após 5 mil ciclos, observou-se que nas posições 1, 2 e 3 individualmente, o aumento

da frequência não causou aumento do desgaste, enquanto o da amplitude sim (Tabela 4). O mesmo foi observado após 10 mil ciclos (Tabela 5) e 20 mil ciclos (Tabela 6). A figura 12 apresenta os gráficos *box-plot* e resultado das comparações múltiplas considerando a posição das amostras em relação a escova e o número de ciclos, separadamente.

Tabela 4 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 5 mil ciclos

Grupo	Posição			Média	DP	Mediana	1Q	3Q	*
	da amostra	Freq. (Hz)	Amp. (mm)						
G7_1.1.10	1	1	10	1.31	(±0.43)	1.20	1.12	1.25	a
G1_1.2.10	1	2	10	0.59	(±0.59)	0.47	0.22	0.72	a
G9_1.1.20	1	1	20	11.81	(±7.06)	10.30	6.40	15.85	b
G3_1.2.20	1	2	20	5.96	(±2.61)	6.67	4.12	7.65	b
G8_2.1.10	2	1	10	1.47	0.34	1.43	1.31	1.63	a
G2_2.2.10	2	2	10	2.57	3.88	0.59	0.44	1.47	a
G10_2.1.20	2	1	20	9.04	6.50	5.95	4.59	12.83	b
G4_2.2.20	2	2	20	14.42	15.21	7.02	3.63	26.94	b
G11_3.1.10	3	1	10	2.86	2.16	1.80	1.38	3.52	a
G5_3.2.10	3	2	10	1.03	0.66	1.00	0.42	1.42	a
G12_3.1.20	3	1	20	16.23	9.23	11.63	10.86	20.32	b
G6_3.2.20	3	2	20	18.20	4.64	18.23	14.72	21.39	b

\*Teste de Kruskal Wallis: posição 1 -  $p < 0.001$ ; posição 2 -  $p < 0.001$ ; posição 3 -  $p < 0.001$ .

Letras minúsculas apresentam diferença significativa entre os grupos obtida por meio do teste de comparações múltiplas Dwass Steel Critchlow-Fligner, considerando a análise entre cada posicionamento da amostra

Tabela 5 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 10 mil ciclos

Grupo	Posição			Média	DP	Mediana	1Q	3Q	*
	da amostra	Freq. (Hz)	Amp. (mm)						
G7_1.1.10	1	1	10	3.52	(±0.99)	3.42	3.02	4.50	a
G1_1.2.10	1	2	10	3.35	(±2.49)	2.64	1.50	4.15	a
G9_1.1.20	1	1	20	20.91	(±12.07)	18.90	11.31	24.82	b[RZ34]
G3_1.2.20	1	2	20	17.41	(±9.36)	17.41	11.77	28.33	b
G8_2.1.10	2	1	10	4.01	(±2.13)	3.24	2.76	4.50	a

G2_2.2.10	2	2	10	5.86	(±3.65)	4.96	3.38	8.82	a
G10_2.1.20	2	1	20	12.97	(±9.53)	9.40	5.35	21.14	ab
G4_2.2.20	2	2	20	27.22	(±20.17)	20.20	13.51	43.61	b
G11_3.1.10	3	1	10	7.23	(±3.84)	7.17	3.93	8.23	a
G5_3.2.10	3	2	10	6.57	(±2.86)	7.48	6.03	8.28	a
G12_3.1.20	3	1	20	28.03	(±12.95)	22.31	20.84	35.23	b
G6_3.2.20	3	2	20	32.18	(±15.82)	28.05	23.55	31.75	b

\*Teste de Kruskal Wallis: posição 1 -  $p < 0.001$ ; posição 2 -  $p < 0.001$ ; posição 3 -  $p < 0.001$

Letras minúsculas apresentam diferença significativa entre os grupos obtida por meio do teste de comparações múltiplas Dwass Steel Critchlow-Fligner, considerando a análise entre cada posicionamento da amostra

Tabela 6 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 20 mil ciclos

Grupo	Posição			Média	DP	Mediana	1Q	3Q	*
	da amostra	Freq. (Hz)	Amp. (mm)						
G7_1.1.10	1	1	10	4.28	(±0.83)	4.31	3.78	4.62	a
G1_1.2.10	1	2	10	6.28	(±2.59)	5.96	4.91	6.73	a
G9_1.1.20	1	1	20	30.01	(±19.71)	24.77	13.88	46.23	b
G3_1.2.20	1	2	20	44.17	(±10.78)	49.74	39.29	50.86	b
G8_2.1.10	2	1	10	9.40	(±5.33)	7.13	5.36	15.10	a
G2_2.2.10	2	2	10	11.16	(±6.43)	12.16	7.83	13.28	a
G10_2.1.20	2	1	20	35.64	(±23.02)	34.84	23.11	53.53	a
G4_2.2.20	2	2	20	42.66	(±28.26)	32.45	26.60	52.54	b
G11_3.1.10	3	1	10	7.59	(±4.03)	5.58	4.72	10.17	a
G5_3.2.10	3	2	10	13.94	(±4.22)	12.72	11.22	18.07	a
G12_3.1.20	3	1	20	51.84	(±20.17)	56.25	35.22	64.94	b
G6_3.2.20	3	2	20	45.04	(±21.85)	48.85	31.10	61.11	b

\*Teste de Kruskal Wallis: posição 1 -  $p < 0.001$ ; posição 2 -  $p = 0.002$ ; posição 3 -  $p < 0.001$

Letras minúsculas apresentam diferença significativa entre os grupos obtida por meio do teste de comparações múltiplas Dwass Steel Critchlow-Fligner, considerando a análise entre cada posicionamento da amostra

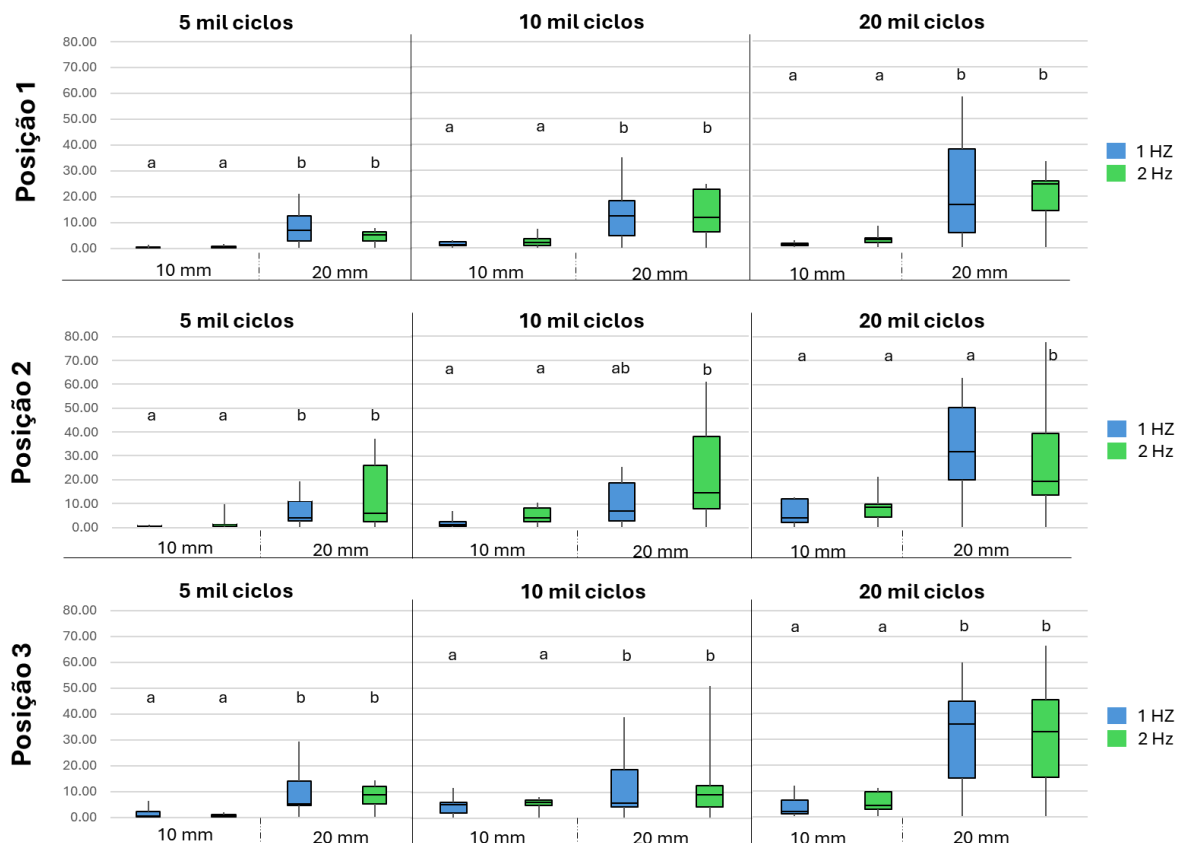


Figura 12 - Gráficos box plot apresentando os valores de desgaste e resultado das comparações múltiplas pelo teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner considerando a posição das amostras em relação a escova e o número de ciclos, separadamente. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis. Para todas as posições, a amplitude de 20 mm apresentou valores superiores que o grupo respectivo em 10 mm.

Para a avaliação da influência da posição da amostra em relação a escova, também foi realizado teste de Kruskal Wallis, seguido do teste para comparação múltipla de Dwass Steel Critchlow-Fligner para cada momento de ciclagem. Na condição frequência 2Hz e amplitude 10 mm a posição 3 promoveu maior desgaste que a posição 1 após 20 mil ciclos de escovação; na condição frequência 1Hz e amplitude 10 mm isso ocorreu apenas após 10 mil ciclos; e na frequência 2Hz e amplitude 20 mm isso aconteceu após 5 mil ciclos. Apenas na condição frequência 2Hz e amplitude 20 mm é que não houve diferença significativa entre a posição da escova. A tabela 7 (figura 13) apresenta os valores de média, desvio padrão e alterações significativas.

Tabela 7 - Média e Desvio padrão para os grupos considerando a avaliação da influência da posição da amostra

Grupo	Posição da amostra	Ciclos (5.000)		Ciclos (10.000)		Ciclos (20.000)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
<i>frequência 2Hz e amplitude 10 mm</i>							
G1_1.2.10	1	0.59	(±0.59) A	3.35	(±2.49) A	6.28	(±2.59) A
G2_2.2.10	2	2.57	(±3.88) A	5.86	(±3.65) A	11.16	(±6.43) AB
G5_3.2.10	3	1.03	(±0.66) A	6.57	(±2.86) A	13.94	(±4.22) B
<i>frequência 1Hz e amplitude 10 mm</i>							
G7_1.1.10	1	1.31	(±0.43) A	3.52	(±0.99) A	4.28	(±0.83) A
G8_2.1.10	2	1.47	(±0.34) AB	4.01	(±2.13) AB	9.40	(±5.33) A
G11_3.1.10	3	2.86	(±2.16) B	7.23	(±3.84) B	7.59	(±4.03) A
<i>frequência 2Hz e amplitude 20 mm</i>							
G3_1.2.20	1	5.96	(±2.61) A	17.78	(±9.36) A	44.17	(±10.78) A
G4_2.2.20	2	14.42	(±15.21) AB	27.22	(±20.17) A	42.66	(±28.26) A
G6_3.2.20	3	18.20	(±4.64) B	32.18	(±15.82) A	45.04	(±21.85) A
<i>frequência 1Hz e amplitude 20 mm</i>							
G9_1.1.20	1	11.81	(±7.06) A	20.91	(±12.07) A	30.01	(±19.71) A
G10_2.1.20	2	9.04	(±6.50) A	12.97	(±9.53) A	35.64	(±23.02) A
G12_3.1.20	3	16.23	(±9.23) A	28.03	(±12.95) A	51.84	(±20.17) A

Letras maiúsculas apresentam diferença na coluna entre as diferentes posições

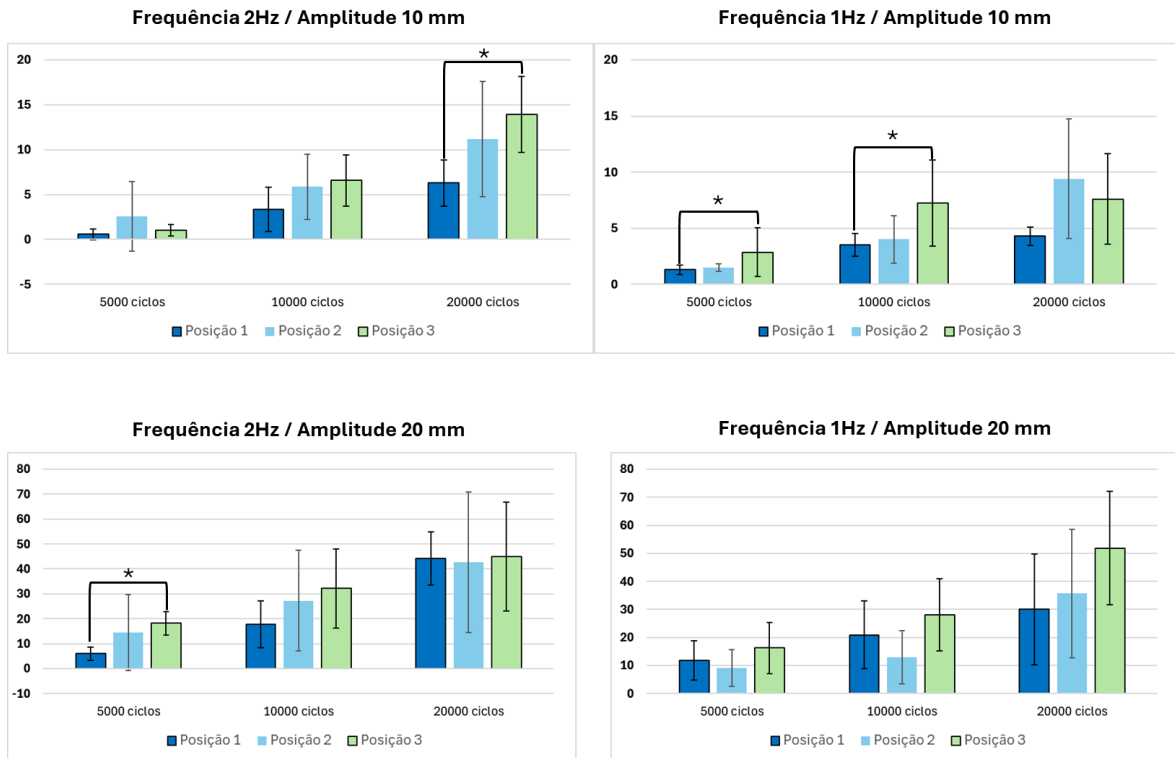


Figura 13 - Gráficos com a média e desvio padrão para os valores de desgaste. O símbolo (\*) apresenta diferença estatística entre os grupos, considerando a posição da amostra em relação a escova. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner.

A análise dos dados obtidos evidenciou que o desgaste abrasivo da dentina foi influenciado de forma significativa pelos parâmetros de amplitude de escovação e, em determinados casos, pela posição da amostra em relação à cabeça da escova, enquanto a frequência (Hz) isoladamente não apresentou impacto estatisticamente significativo.

Após 5.000 ciclos de escovação, observou-se que, nas três posições testadas (1, 2 e 3), o aumento da amplitude de 10 mm para 20 mm promoveu um acréscimo considerável nos valores de desgaste, independentemente da frequência utilizada. Por exemplo, na posição 1, os grupos G7\_1.1.10 (posição 1, 1Hz, 10mm) e G1\_1.2.10 (posição 1, 2Hz, 10mm) apresentaram desgaste médio abaixo de 1,5 μm, enquanto os grupos G9\_1.1.20 (posição 1, 1Hz, 20mm) e G3\_1.2.20 (posição 1, 2Hz, 20mm) registraram valores acima de 5 μm, com significância estatística ( $p < 0,001$ ). O mesmo comportamento foi mantido aos 10.000 ciclos, com desgaste crescente proporcional à amplitude. Destaca-se que a posição 3 apresentou, em algumas combinações, valores superiores em relação às posições 1 e 2. Isso se evidenciou, por exemplo, no grupo G12\_3.1.20 (posição 3, 1Hz, 20mm), com média de 28,03 μm, maior que os grupos

correspondentes das posições 1 e 2. A significância estatística para essa comparação também foi confirmada ( $p < 0,001$ ).

Após 20.000 ciclos, a tendência de acúmulo progressivo de desgaste foi intensificada. Grupos submetidos à amplitude de 20 mm apresentaram valores expressivamente superiores aos grupos de 10 mm, independentemente da frequência. Na posição 1, por exemplo, o grupo G3\_1.2.20 (posição 1, 2Hz, 20mm) alcançou 44,17  $\mu\text{m}$  de desgaste, enquanto G1\_1.2.10 (posição 1, 2Hz, 10mm) permaneceu em 6,28  $\mu\text{m}$ . De forma similar, os grupos G6\_3.2.20 e G12\_3.1.20, ambos com amplitude de 20 mm na posição 3, mostraram os maiores valores médios de desgaste entre todos os grupos (acima de 45  $\mu\text{m}$ ), com baixa dispersão e significância estatística confirmada.

A análise da influência da posição da amostra revelou que ela interfere no padrão de desgaste, mas de forma dependente dos demais parâmetros. De acordo com a Tabela 7 e Figura 13, nos grupos com frequência de 2Hz e amplitude de 10 mm, a posição 3 resultou em desgaste significativamente maior do que a posição 1 apenas após 20.000 ciclos. Já na condição de 1Hz/10 mm, essa diferença apareceu aos 10.000 ciclos, e para 2Hz/20 mm, já era observável após 5.000 ciclos. Isso sugere que, quanto mais agressivos os parâmetros cinéticos (amplitude e frequência), mais rapidamente a posição centralizada da escova (posição 3) impacta o padrão de desgaste dentinário.

Para avaliação da influência dos parâmetros testados na rugosidade ( $R_a$ ), os dados também se mostraram fora da normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade (Levene). Assim, foi realizado a comparação entre os grupos por meio da análise de variância não paramétrica por meio do teste de Kruskal-Wallis em cada um dos tempos avaliados (ciclagem), seguido do teste para comparação múltipla de Dwass Steel Critchlow-Fligner.

Após 5 mil ciclos, observou-se diferença entre valores apenas nas posições 1 e 2, sendo a amplitude mais influente que a frequência na posição 1, e na posição 2 tanto amplitude como frequência foram relevantes (Tabela 8). Para 10 mil ciclos, ocorreu o inverso, sendo observado aumento da rugosidade apenas na posição 3 com aumento tanto da frequência como da amplitude (Tabela 9). Já para 20 mil ciclos, novamente a posição 1 apresentou aumento da rugosidade com aumento da amplitude, e na posição 3 esse aumento foi observado apenas com aumento tanto da frequência como da amplitude (Tabela 10). A figura 14 apresenta os gráficos *box-plot* e resultado das comparações múltiplas considerando a posição das amostras em relação

a escova e o número de ciclos, separadamente. Esta figura se trata apenas de uma apresentação visual dos valores apresentados nas tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 5 mil ciclos

Grupo	Posição			Média	DP	Mediana	1Q	3Q	*
	da amostra	Freq. (Hz)	Amp. (mm)						
G7_1.1.10	1	1	10	0.19	(±0.02)	0.19	0.18	0.20	a
G1_1.2.10	1	2	10	0.11	(±0.05)	0.09	0.06	0.17	b
G9_1.1.20	1	1	20	0.31	(±0.19)	0.25	0.21	0.39	a
G3_1.2.20	1	2	20	0.24	(±0.03)	0.24	0.22	0.26	a
G8_2.1.10	2	1	10	0.18	(±0.03)	0.18	0.16	0.20	a
G2_2.2.10	2	2	10	0.13	(±0.10)	0.09	0.05	0.22	ab
G10_2.1.20	2	1	20	0.24	(±0.08)	0.21	0.19	0.28	ab
G4_2.2.20	2	2	20	0.25	(±0.08)	0.23	0.20	0.29	b
G11_3.1.10	3	1	10	0.20	(±0.05)	0.20	0.19	0.21	a
G5_3.2.10	3	2	10	0.20	(±0.03)	0.20	0.19	0.20	a
G12_3.1.20	3	1	20	0.23	(±0.07)	0.22	0.22	0.23	a
G6_3.2.20	3	2	20	0.25	(±0.10)	0.21	0.21	0.24	a

\*Teste de Kruskal Wallis: posição 1 –  $p < 0.001$ ; posição 2 –  $p = 0.024$ ; posição 3 –  $p = 0.177$ .

Letras minúsculas apresentam diferença significativa entre os grupos obtida por meio do teste de comparações múltiplas Dwass Steel Critchlow-Fligner, considerando a análise entre cada posicionamento da amostra

Tabela 9 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 10 mil ciclos

Grupo	Posição			Média	DP	Mediana	1Q	3Q	*
	da amostra	Freq. (Hz)	Amp. (mm)						
G7_1.1.10	1	1	10	0.20	(±0.34)	0.20	0.18	0.21	a
G1_1.2.10	1	2	10	0.22	(±0.09)	0.18	0.15	0.18	a
G9_1.1.20	1	1	20	0.35	(±0.29)	0.24	0.21	0.23	a
G3_1.2.20	1	2	20	0.28	(±0.16)	0.23	0.21	0.22	a
G8_2.1.10	2	1	10	0.22	(±0.07)	0.20	0.18	0.24	a
G2_2.2.10	2	2	10	0.27	(±0.10)	0.25	0.19	0.34	a
G10_2.1.20	2	1	20	0.33	(±0.23)	0.22	0.18	0.48	a
G4_2.2.20	2	2	20	0.34	(±0.19)	0.26	0.22	0.27	a

G11_3.1.10	3	1	10	0.14	(±0.02)	0.15	0.13	0.15	a
G5_3.2.10	3	2	10	0.19	(±0.02)	0.19	0.17	0.20	b
G12_3.1.20	3	1	20	0.16	(±0.05)	0.15	0.13	0.20	ab
G6_3.2.20	3	2	20	0.19	(±0.03)	0.19	0.17	0.20	b

\*Teste de Kruskal Wallis: posição 1 -  $p = 0.062$ ; posição 2 -  $p = 0.317$ ; posição 3 -  $p = 0.013$

Letras minúsculas apresentam diferença significativa entre os grupos obtida por meio do teste de comparações múltiplas Dwass Steel Critchlow-Fligner, considerando a análise entre cada posicionamento da amostra

Tabela 10 - Valores de média, desvio padrão, mediana e intervalos interquartis encontrados após 20 mil ciclos

Grupo	Posição			Média	DP	Mediana	1Q	3Q	*
	da amostra	Freq. (Hz)	Amp. (mm)						
G7_1.1.10	1	1	10	0.19	(±0.02)	0.18	0.17	0.19	a
G1_1.2.10	1	2	10	0.22	(±0.04)	0.20	0.19	0.21	a
G9_1.1.20	1	1	20	0.33	(±0.14)	0.27	0.24	0.39	b
G3_1.2.20	1	2	20	0.38	(±0.20)	0.29	0.25	0.46	b
G8_2.1.10	2	1	10	0.26	(±0.14)	0.20	0.19	0.25	a
G2_2.2.10	2	2	10	0.23	(±0.07)	0.21	0.20	0.22	a
G10_2.1.20	2	1	20	0.46	(±0.28)	0.35	0.25	0.70	a
G4_2.2.20	2	2	20	0.24	(±0.04)	0.24	0.22	0.28	a
G11_3.1.10	3	1	10	0.16	(±0.03)	0.17	0.14	0.18	a
G5_3.2.10	3	2	10	0.21	(±0.03)	0.21	0.19	0.24	ab
G12_3.1.20	3	1	20	0.26	(±0.09)	0.23	0.21	0.26	b
G6_3.2.20	3	2	20	0.23	(±0.06)	0.20	0.20	0.28	ab

\*Teste de Kruskal Wallis: posição 1 -  $p < 0.001$ ; posição 2 -  $p = 0.140$ ; posição 3 -  $p = 0.007$

Letras minúsculas apresentam diferença significativa entre os grupos obtida por meio do teste de comparações múltiplas Dwass Steel Critchlow-Fligner, considerando a análise entre cada posicionamento da amostra

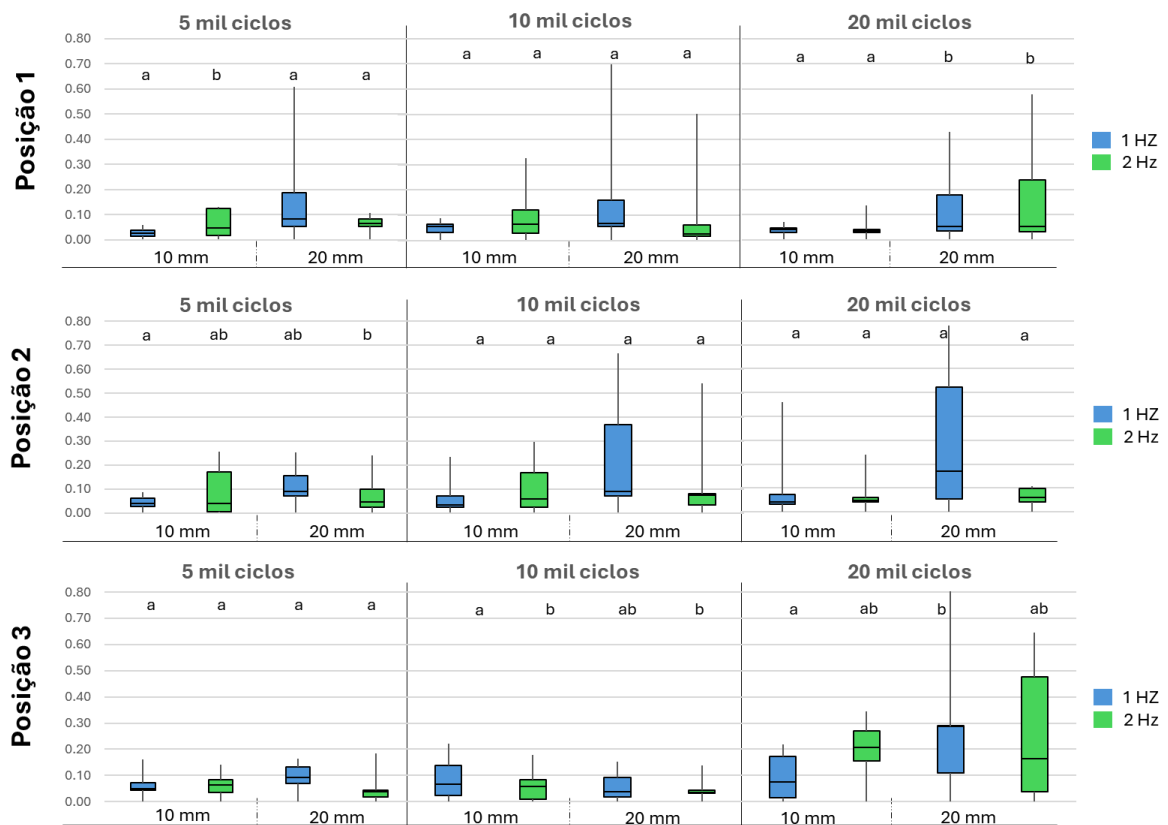


Figura 14 - Gráficos box plot apresentando os valores de desgaste e resultado das comparações múltiplas pelo teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner considerando a posição das amostras em relação a escova e o número de ciclos, separadamente. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis.

Ainda nos dados da rugosidade, a avaliação da influência da posição da amostra em relação a escova, também foi realizado pelo teste de Kruskal Wallis, seguido do teste para comparação múltipla de Dwass Steel Critchlow-Fligner para cada momento de ciclagem. Na condição frequência 2Hz e amplitude 10 mm, houve diferença entre a posição 1 e 3 apenas em 5 mil ciclos e com o aumento da ciclagem, a posição tendeu a ser indiferente. Na condição frequência 1Hz e amplitude 10 mm a rugosidade foi menor na posição 3 após 10 mil ciclos, mas similar a posição 1 após 20 mil ciclos. Na frequência 2Hz e amplitude 20 mm a posição 3 promoveu menor rugosidade apenas após 10 mil ciclos, tendo se igualado as demais após 20 mil ciclos. Por fim, na condição frequência 2Hz e amplitude 20 mm, a rugosidade também foi menor na posição 3 após 10 mil ciclos, apresentando valores similares entre todas após 20 mil ciclos (tabela 11). Na figura 15 está a análise gráfica visual destas diferenças.

Tabela 11 - – Média e Desvio padrão para os grupos considerando a avaliação da influência da posição da amostra

Grupo	Posição da amostra	Ciclos (5.000)		Ciclos (10.000)		Ciclos (20.000)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
<i>frequência 2Hz e amplitude 10 mm</i>							
<b>G1_1.2.10</b>	1	0.11	(±0.05) A	0.22	(±0.10) A	0.21	(±0.04) A
<b>G2_2.2.10</b>	2	0.13	(±0.10) AB	0.27	(±0.10) A	0.23	(±0.07) A
<b>G5_3.2.10</b>	3	0.20	(±0.03) B	0.19	(±0.02) A	0.21	(±0.03) A
<i>frequência 1Hz e amplitude 10 mm</i>							
<b>G7_1.1.10</b>	1	0.19	(±0.02) A	0.20	(±0.03) A	0.19	(±0.02) AB
<b>G8_2.1.10</b>	2	0.18	(±0.03) A	0.22	(±0.06) A	0.26	(±0.14) A
<b>G11_3.1.10</b>	3	0.20	(±0.05) A	0.14	(±0.02) B	0.16	(±0.03) B
<i>frequência 2Hz e amplitude 20 mm</i>							
<b>G3_1.2.20</b>	1	0.24	(±0.03) A	0.28	(±0.16) A	0.38	(±0.20) A
<b>G4_2.2.20</b>	2	0.25	(±0.08) A	0.34	(±0.19) A	0.24	(±0.04) A
<b>G6_3.2.20</b>	3	0.35	(±0.10) A	0.19	(±0.03) B	0.23	(±0.06) A
<i>frequência 1Hz e amplitude 20 mm</i>							
<b>G9_1.1.20</b>	1	0.31	(±0.19) A	0.35	(±0.25) A	0.33	(±0.14) A
<b>G10_2.1.20</b>	2	0.23	(±0.08) A	0.33	(±0.23) AB	0.46	(±0.28) A
<b>G12_3.1.20</b>	3	0.23	(±0.07) A	0.16	(±0.05) B	0.26	(±0.09) A

Letras maiúsculas apresentam diferença na coluna entre as diferentes posições

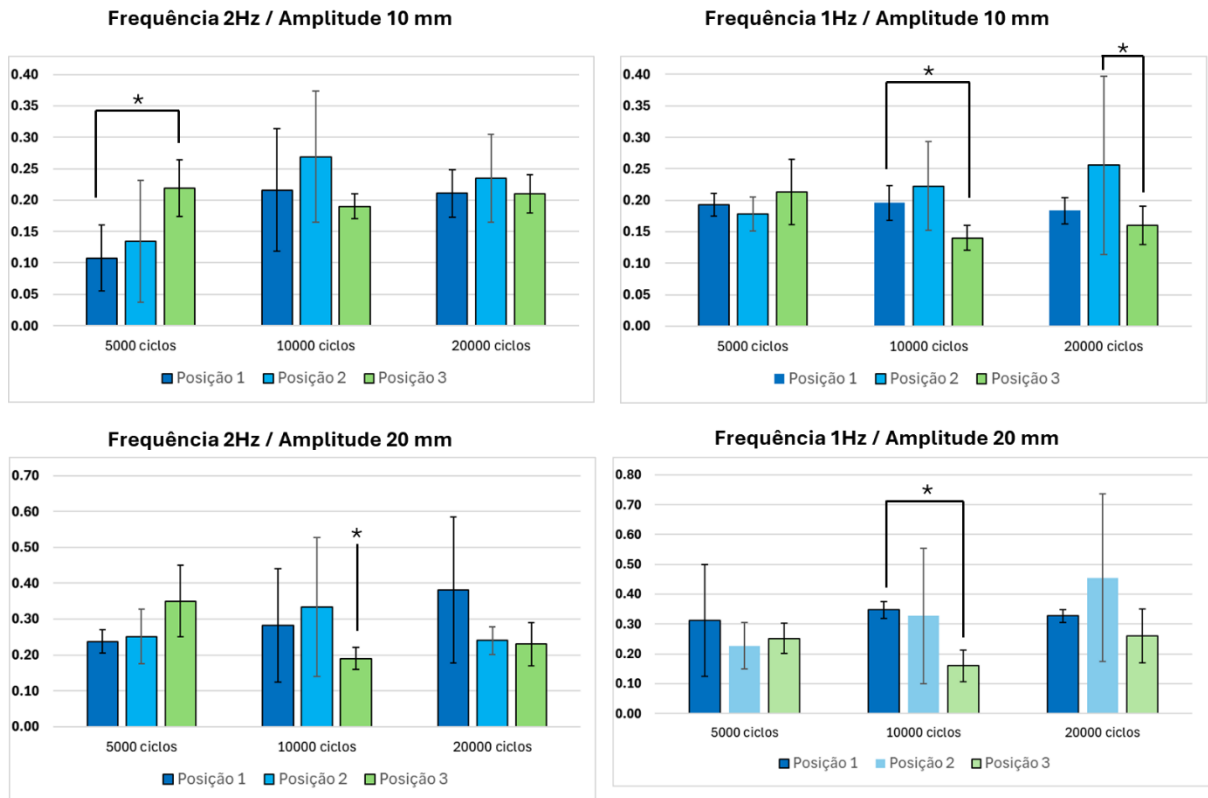


Figura 15 - Gráficos com a média e desvio padrão para os valores de rugosidade. O símbolo (\*) apresenta diferença estatística entre os grupos, considerando a posição da amostra em relação a escova. Em todas as análises foi realizado teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dwass Steel Critchlow-Fligner.

Após 5.000 ciclos, os valores de rugosidade Ra foram relativamente baixos, com médias variando de 0,20 a 0,28. A amplitude da escovação demonstrou ser o principal fator influente nesse estágio inicial: grupos submetidos à amplitude de 20 mm apresentaram valores de Ra significativamente maiores do que aqueles com 10 mm ( $p < 0,001$ ). Por outro lado, a frequência de escovação (1 Hz vs. 2 Hz) não demonstrou diferença estatisticamente significativa ( $p = 0,885$ ), indicando que, em curto prazo, o número de oscilações por segundo não afeta de forma relevante a rugosidade superficial. A posição da amostra teve influência modesta, com a posição 1 apresentando ligeiramente maior média de Ra.

Com o aumento do número de ciclos para 10.000, observou-se um aumento geral dos valores de Ra, com médias variando de 0,17 a 0,34  $\mu\text{m}$ . A posição da amostra passou a exercer maior influência, com a posição 2 apresentando a maior rugosidade média (0,34  $\mu\text{m}$ ), enquanto a posição 3 exibiu os menores valores. O teste de Kruskal-Wallis indicou diferenças estatisticamente significativas entre as posições ( $p < 0,001$ ). Quanto à frequência, embora não tenha havido efeito significativo nas posições 1 e 2, a posição 3 apresentou maior rugosidade

em 1 Hz do que em 2 Hz ( $p=0,002$ ), sugerindo uma possível interação localizada entre frequência e geometria de escovação. A amplitude de 20 mm novamente foi responsável pelos maiores valores médios de Ra, com significância estatística ( $p<0,001$ ).

No último ciclo analisado, após 20.000 escovações, os valores médios de Ra aumentaram ainda mais, atingindo variações entre 0,22 e 0,42  $\mu\text{m}$ . A amplitude de escovação manteve-se como o único fator estatisticamente significativo ( $p<0,05$ ), com a amplitude de 20 mm resultando em valores significativamente mais elevados de rugosidade média do que a de 10 mm. Curiosamente, a posição da amostra, que havia influenciado significativamente os dados no ciclo anterior, não apresentou diferença estatística nesta fase ( $p>0,05$ ). De modo semelhante, a frequência de escovação também não resultou em diferenças significativas, independentemente da posição ( $p>0,05$ ).

Ao longo dos três tempos avaliados, observou-se que a amplitude de escovação foi o fator cinético mais relevante nas alterações na rugosidade superficial (Ra). Esse padrão foi consistente e estatisticamente significativo em todas as análises, demonstrando que escovações com curso mais longo promovem maior abrasividade sobre a dentina. Já frequência de escovação demonstrou influência apenas pontual (ciclo 10.000, posição 3), sugerindo que seu impacto isolado é limitado, mas que interações específicas com a posição da escova podem modificar os resultados. A posição da amostra apresentou influência variável: teve impacto moderado no ciclo de 5.000, influência significativa no ciclo de 10.000 e ausência de significância no ciclo de 20.000, possivelmente devido à saturação dos efeitos de desgaste ao longo do tempo.

## 2.5. Discussão

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a amplitude do movimento da escova foi considerado o parâmetro cinético com maior impacto sobre o desgaste da dentina, apresentando diferenças estatisticamente significativas em todas as posições de amostra, sendo proporcional ao aumento da ciclagem (5.000, 10.000 e 20.000 ciclos). Esse achado está em concordância com os princípios tribológicos descritos na literatura, em que a área de contato e

o deslocamento relativo influenciam diretamente na severidade do desgaste abrasivo ( $V \propto N \times P/H$ ) [76].

Assim, a hipótese de nulidade testada pode ser negada, em vista que o parâmetro cinéticos amplitude interfere no desgaste da dentina, e devem ser padronizados para comparação entre estudos.

O aumento da amplitude implica em um maior contato das cerdas de escova (e consequentemente o deslizamento do abrasivo da suspensão de dentifrício) sobre a superfície. Na figura 9 é possível observar que no modelo de escova utilizado, uma fileira mais homogênea de tufos ficava concentrado mais próximo ao cabo da escova (consequentemente mais próximo da posição 1 e 3, testadas), e durante o movimento de maior amplitude, possivelmente essa área com maior concentração de cerdas implicou em maior contato com a superfície dentinária, induzindo maior desgaste. A literatura sugere que a rigidez do filamento, a sua configuração grau de espalhamento durante o movimento impactam no tempo de “retenção” das partículas abrasivas [77]. [D35] Usualmente é recomendado o uso de escovas macias para higiene oral, sendo este o motivo de escolha desse modelo para o estudo, no entanto, tufos com filamentos mais flexíveis que, durante a carga (força peso), se espalham com maior facilidade, podem “prender” e reter mais partículas abrasivas, aumentando o potencial de desgaste. Isso é sugerido por Lewis et al. (2006) [77] e corrobora com os achados deste estudo. O estudo de Bass et. Al (1954) [78], afirma que outro ponto a ser considerado acerca do efeito do desgaste dentário é o formato arredondado dos filamentos das cerdas das escovas de dente, considerado uma característica importante na otimização do design das escovas. Breitenmoser et. al (1979) corroboram e discutem que cerdas com filamentos de pontas arredondadas são mais propensas a prevenir dano à superfície dentária do que filamentos de pontas afiladas, característica de escovas de dente com cerdas rígidas [79]. [UC36][UC37] Ainda, no contexto do espalhamento e atrito das partículas abrasivas pelos filamentos da escova, na suspensão do dentifrício as partículas estão livres para realizarem movimentos de rotação e translação entre duas superfícies em contato deslizante (abrasão de 3 corpos), e também podem se prendem aos filamentos resultando na ação de abrasão dois corpos [80]. [D38] No presente estudo a escova foi padronizada para minimizar esse viés, além da escolha pela versão macia seguir o recomendado por associações nacionais e internacionais de odontologia. Estudos futuros podem considerar a avaliação de escovas com diferente distribuição de cerdas para validar esta hipótese.

Surpreendentemente, a frequência (1Hz versus 2Hz), embora relacionada à repetição do atrito, não apresentou impacto estatisticamente significativo isoladamente no desgaste. O aumento da frequência (número de ciclos por segundo), considerando o mesmo número de ciclos, implica em aumento da energia atribuída no sistema. A execução de 5 mil ciclos a 2Hz implica em metade do tempo para executar o mesmo a 1Hz, conseqüentemente há um aumento da velocidade com maior energia incluída no sistema. Resultados de Krol et al. (2021) [47], também não encontraram diferenças relevantes no desgaste da dentina entre escovação contínua e intermitente mesmo utilizando frequência de 2Hz. Isso reforça a hipótese de que, mais do que da frequência, o comprimento do curso de escovação (amplitude) e a força aplicada que determinam a magnitude do desgaste, sobretudo em tecidos menos mineralizados como a dentina.

A posição da amostra em relação à escova influenciou significativamente os resultados apenas em condições específicas de frequência e amplitude, especialmente quando esta última era de 20mm. A posição centralizada (posição 3), na qual a escova atua diretamente sobre a amostra, resultou em valores médios mais elevados de perda de estrutura, especialmente após 10.000 e 20.000 ciclos. Esse dado sugere, mais uma vez, que a concentração dos tufo, associados ao abrasivo, e o alinhamento do vetor de força em relação à amostra aumenta a intensidade do desgaste, favorecendo microcortes na dentina e intensificando a abrasão.

Comparando esses achados com os estudos da literatura, observa-se grande variabilidade nos protocolos adotados. Por exemplo, Viana et al. (2020) [45] utilizaram amplitude de 30mm e frequência de 3Hz, enquanto Lima et al. (2020) [46] aplicaram 3Hz com número maior de ciclos (30.000), mas sem especificar amplitude. A ausência de padronização dificulta comparações diretas, justificando a proposta desta dissertação de criar uma base metodológica mais sólida e reprodutível para ensaios de abrasão.

Vale destacar que, ao utilizar o tecido dentinário como substrato, este estudo contribui para a compreensão do potencial abrasivo em situações clínicas reais, visto que a dentina é comumente exposta em lesões cervicais não cáries, é mais susceptível ao desgaste do que o esmalte, e é o substrato de escolha para mensuração do RDA (Relative Dentin Abrasivity), uma medida comumente utilizada para determinar o potencial abrasivo de dentífricos. A literatura estabelece que valores de RDA entre 70 e 100 são considerados de média abrasividade [81], [D39] e adequado para uso adulto. Embora o fabricante do dentífrico usado neste estudo não divulgue o valor do RDA deste produto, especulasse que ele seja em torno de 70 por

comparação com produtos similares na literatura [82]. [D40] Além disso, o uso de slurry padronizado e controle rigoroso da força (média de 220g em todos os grupos, com coeficiente de variação <0,2%) permite confiabilidade aos dados experimentais. Estudos focando no desgaste do esmalte são frequentemente evitados devido à sua dureza, por isso mais atenção é dada ao desgaste da dentina, tecido dentário dúctil no qual é facilitado a quantificação do desgaste. A abrasividade de dentifrícios depende de três fatores: a dureza das partículas, o tamanho das partículas e a forma das partículas [83][UC41]. Os abrasivos do dentifrício escolhido para estudo são o carbonato de cálcio e bicarbonato de sódio. A dureza dessas partículas, dureza de Vickers, são, respectivamente, 120-160HV e 60-100HV. Considerando esses valores de dureza, carbonato de cálcio é considerado um abrasivo médio a alto, com alta capacidade de remoção de biofilme e manchas extrínsecas e prejudicial à dentina exposta quando em altas concentrações; enquanto que o bicarbonato de sódio é considerado um abrasivo leve, ideal para dentes sensíveis. O RDA (Abrasividade Relativa à Dentina) de cada um dos abrasivos é, respectivamente, 70-120 e 7-20. [84]. [D42] Se o agente abrasivo possuir alta concentração na composição do dentifrício, há maior ocorrência de desgaste abrasivo sobre a superfície dentária [85]. [D43]

Assim, com base nas limitações deste estudo, pode-se concluir que a extensão do deslocamento da escova sobre a superfície é um fator determinante na intensidade do desgaste mecânico induzido. Além disso, a posição da amostra frente à escova demonstrou exercer influência variável, especialmente nos grupos com maiores amplitudes e frequências, sendo a posição centralizada (posição 3) a que apresentou, de forma recorrente, os maiores valores médios de perda de estrutura. Este achado sugere que o local de contato da escova na amostra pode modificar a distribuição de carga e intensidade da abrasão, sobretudo quando associada a parâmetros mais agressivos. A progressão dos ciclos abrasivos mostrou uma tendência cumulativa de perda de estrutura dentinária ao longo do tempo, com aumentos graduais e estatisticamente significativos entre os pontos de coleta (5k, 10k e 20k ciclos). A curva de desgaste observada indica um comportamento dependente do tempo de exposição ao desgaste mecânico, em conformidade com o esperado para materiais dentários submetidos a atrito repetitivo.

## 2.6. Conclusão

Com base nos resultados obtidos neste estudo, foi possível concluir que o desgaste da dentina submetida à escovação simulada é influenciado de maneira significativa por variáveis cinéticas específicas, especialmente a amplitude de movimento da escova e, em determinados contextos, pela posição da amostra em relação à cabeça da escova. A frequência de escovação (1 Hz ou 2 Hz), por sua vez, não apresentou efeito isolado estatisticamente significativo sobre o grau de desgaste. Observou-se que o aumento da amplitude de escovação de 10 mm para 20 mm promoveu o aumento no desgaste dentinário em todos os ciclos analisados (5.000, 10.000 e 20.000), independentemente da frequência e da posição da amostra.

Os achados deste estudo reforçam a necessidade de padronização de parâmetros cinéticos em ensaios laboratoriais de abrasão simulada, especialmente no que se refere à amplitude e posicionamento da escova, visando garantir maior reprodutibilidade dos experimentos e permitir comparações confiáveis entre diferentes estudos. Ademais, os resultados aqui obtidos podem servir como base para o desenvolvimento de protocolos experimentais mais consistentes na área da odontologia restauradora e preventiva, contribuindo para o avanço da pesquisa sobre desgaste de tecidos dentais.

## 2.6. Referências\*

1. Nanci A. Ten Cate - Histologia Oral. 9th ed. Grupo GEN; 2019.
2. Katchburian E, Arana V. Histologia e Embriologia Oral: Texto, Atlas, Correlações Clínicas. 5th ed. Grupo GEN; 2023.
3. Torres CRG, Barbe AG, Noack MJ, Wicht MJ. Diagnosis and Treatment Planning. In 2020. p. 1–42. DOI:10.1007/978-3-030-31772-0\_1
4. Oguro R, Nakajima M, Seki N, Sadr A, Tagami J, Sumi Y. The role of enamel thickness and refractive index on human tooth colour. *J Dent*. 2016 Aug;51:36-44. doi: 10.1016/j.jdent.2016.05.010. Epub 2016 Jun 2. PMID: 27265619.
5. Imran E, Mei ML, Li KC, Ratnayake J, Ekambaram M, Cooper PR. *Dental applications of ion-substituted hydroxyapatite: a review of the literature*. *Dent J (Basel)*. 2024 Sep 25;12(10):304. doi:10.3390/dj12100304
6. Goldberg M, Kulkarni AB, Young M, Boskey A. Dentin: structure, composition and mineralization. *Front Biosci (Elite Ed)*. 2022;14(2):281–294. doi:10.2741/E281.
7. Singh S, Joshi P, Rai R, Shashikiran ND. Predentin thickness analysis in developing and developed permanent teeth. *J Clin Diagn Res*. 2015 Apr;9(4):ZC11–4. doi:10.7860/JCDR/2015/11627.5776.
8. BORGES AB, GULLO MA, ZANATTA RF. Desgaste dental erosivo: quando o fisiológico se torna patológico? v. 7, p. 95-8, 2020. . PROTESENEWS. 2020;7:95–8.
9. Pereira, Maria & Silva, Raphaela & Augusto, Caio & Fort, Ana & Moura, Rodrigo & Liporoni, Priscila & Zanatta, Rayssa. (2021). Social, nutritional, and behavioral aspects associated with erosive tooth wear - considerations and preventive aspects. *Research, Society and Development*. 10. e37310111897. 10.33448/rsd-v10i1.11897
10. W. Muller, Xerostomia, *Deut. Zahnarz-tebl*. Vol 12, 1958, p 378-380.
11. Dawes C, Jenkins GN, Tongue CH. The nomenclature of the integuments of the enamel surface of the teeth. *Br Dent J*. 1963;115:65–8.
12. Klatsky M. Dental attrition. *J Am Dent Assoc*. 1939;26:73–84. doi:10.14219/jada.archive.1939.0036
13. P. D. Marsh, N. Takahashi e B. Nyvad. Biofilmes no Desenvolvimento da Cárie. In: FEJERSKOV, Ole; NYVAD, Bente; KIDD, Edwina. Cárie Dentária: Fisiopatologia e Tratamento. 3. ed. Rio de Janeiro: Santos, 2017. *E-book*. p.1. ISBN 9788527731799
14. Zanatta, Rayssa Ferreira; TORRES, CARLOS ROCHA GOMES ; BORGES, ALESSANDRA BÜHLER . Desgaste Dental Não Carioso - conceitos, diagnóstico e

- aspectos clínicos. In: Rayssa Zanatta; Danilo Duarte; Murilo Feres. (Org.). *Lesões Não Cariosas e HMI: o que precisamos saber!*. 1ed. Nova Odessa: Napoleão, 2019, v. 1, p. 14-27.
15. Wady B, Joyce RSD. *The wear and tear of teeth*. Med Princ Pract. 2022;24(Suppl 1):3.
  16. Lewis R, Dwyer-Joyce RS. *Interactions between toothbrush and toothpaste particles during simulated abrasive cleaning*. Proc Inst Mech Eng J Eng Tribol. 2006;220(8):817–826. doi:10.1243/13506501JET96.
  17. Baig M. *Understanding the role of tribology in maintaining oral hygiene*. [Southampton]: University of Southampton; 2018.
  18. Pieren JA, Bowen DM, editors. *Darby & Walsh Dental Hygiene: Theory and Practice*. 5th ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2019. ISBN 9780323676762.
  19. Ashcroft AT, Joiner A. *Tooth cleaning and tooth wear: a review*. Proc Inst Mech Eng J Eng Tribol. 2010;224(6):539–549. doi:10.1243/13506501JET671
  20. Shen C, Rawls HR, Esquivel-Upshaw JF, Anusavice KJ, Rawls HR, Skinner EW, et al. *Phillips' Science of Dental Materials*. 13<sup>a</sup> ed. St. Louis, MO: Elsevier; 2022.
  21. Carvalho FG, Sampaio CS, Fucio SB, Carlo HL, Correr-Sobrinho L, Puppini-Rontani RM. *Effect of chemical and mechanical degradation on surface roughness of three glass ionomers and a nanofilled resin composite*. Oper Dent. 2012;37(5):509–17.
  22. Saraiva LO, Aguiar TR, Costa L, Cavalcanti AN, Giannini M, Mathias P. *Influence of intraoral temperature and relative humidity on the dentin bond strength: an in situ study*. J Esthet Restor Dent. 2015;27(2):92-99. doi:10.1111/jerd.12098
  23. Grippo JO, Simring M, Coleman TA. *Abfraction, abrasion, biocorrosion, and the enigma of noncariious cervical lesions: a 20-year perspective*. J Esthet Restor Dent. 2012 Feb;24(1):10-23. doi: 10.1111/j.1708-8240.2011.00487.x. Epub 2011 Nov 17. PMID: 22296690
  24. Zanatta RF, Feres M, Duarte DA. *Lesões não cariosas e HMI: o que precisamos saber!* 1<sup>a</sup> ed. Maringá: Editora Napoleão; 2019
  25. Zeola LF, Pereira FA, Machado AC, Reis BR, Kaidonis J, Xie Z, Townsend GC, Ranjitkar S, Soares PV. *Effects of non-cariious cervical lesion size, occlusal loading and restoration on biomechanical behaviour of premolar teeth*. Aust Dent J. 2016 Dec;61(4):408-417. doi: 10.1111/adj.12391. PMID: 26671647.
  26. Pereira FA, Zeola LF, de Almeida Milito G, Reis BR, Pereira RD, Soares PV. *Restorative material and loading type influence on the biomechanical behavior of wedge*

- shaped cervical lesions. *Clin Oral Investig.* 2016 Apr;20(3):433-41. doi: 10.1007/s00784-015-1523-3. Epub 2015 Jul 11. PMID: 26159778
27. Jost HP. *Lubrication (Tribology) – A report on the present position and industry's needs.* London: Department of Education and Science; 1966. (Her Majesty's Stationery Office. Committee on Tribology. Report no. 3516).
  28. Bhushan B. *Introduction to tribology.* 2nd ed. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2013.
  29. Bauer W, Westfall GD, Dias H. *Física universitária: mecânica.* Porto Alegre: AMGH Editora; 2012.
  30. Stack MM. Tribology matters. *UK Power Process Eng.* 2009;1:33.
  31. Bhushan, B., 2001. *Modern Engineering Handbook.* Volumes I & II. Florida: CRC Press. Date, S.W., Malkin, S., 1976. Effects of grit size on abrasion with coated abrasives, *Wear*, 40, p.p.223–235.
  32. Hokkirigawa, K. and Kato, K., 1988. An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear. *Tribology international*, 21, pp.51-56.
  33. Wodziska B. *Effect of indenter geometry and relationship between abrasive wear and hardness in early stage of repetitive sliding.* *Wear.* 2006;260:412–21
  34. Stachowiak GW. Wear debris and associated wear phenomena: fundamental research and practice. *Wear.* 2005;258(1–4):189–96
  35. Wear of fluorapatite single crystals: Part I. A method for quantitative evaluation of wear. *J Dent Res.* 1972;51(1):167–73. doi: 10.1177/00220345720510011201.
  36. Powers JM, Craig RG. Wear of fluorapatite single crystals: Part III. Mechanism of wear. *J Dent Res.* 1974;53(1):82-88. doi:10.1177/00220345740530011001.
  37. Powers JM, Ludema KC, Craig RG. Wear of fluorapatite single crystals: Part IV. Influence of sliding direction on frictional behavior and surface failure. *J Dent Res.* 1973;52(5):1019–24. doi:10.1177/00220345730520050401.
  38. Engle K, Hara AT, Matis B, Eckert GJ, Zero DT. Erosion and Abrasion of Enamel and Dentin Associated With At-Home Bleaching. *The Journal of the American Dental Association.* 2010 May;141(5):546–51. DOI:10.14219/jada.archive.2010.0227
  39. Trauth KGS, Godoi APT de, Colucci V, Corona SAM, Catirse ABCEB. The influence of mouthrinses and simulated toothbrushing on the surface roughness of a nanofilled composite resin. *Braz Oral Res.* 2012 Jun;26(3):209–14. DOI:10.1590/S1806-83242012000300005

40. Wiegand A, Burkhard JPM, Eggmann F, Attin T. Brushing force of manual and sonic toothbrushes affects dental hard tissue abrasion. *Clin Oral Investig*. 2013 Apr 13;17(3):815–22. DOI:10.1007/s00784-012-0788-z
41. Carvalho TS, Lussi A. Combined effect of a fluoride-, stannous- and chitosan-containing toothpaste and stannous-containing rinse on the prevention of initial enamel erosion–abrasion. *J Dent*. 2014 Apr;42(4):450–9. DOI:10.1016/j.jdent.2014.01.004
42. Sehmi H, Olley RC. The effect of toothbrush abrasion force on dentine hypersensitivity in-vitro. *J Dent*. 2015 Dec;43(12):1442–7. DOI:10.1016/j.jdent.2015.10.014
43. João-Souza SH, Lussi A, Baumann T, Scaramucci T, Aranha ACC, Carvalho TS. Chemical and physical factors of desensitizing and/or anti-erosive toothpastes associated with lower erosive tooth wear. *Sci Rep*. 2017 Dec 20;7(1):17909. DOI:10.1038/s41598-017-18154-8
44. Torres CRG, Bonício GC, Crastechini É, Mailart MC, Borges AB. Effect of whitening mouthrinses on enamel toothbrush abrasion. *Am J Dent*. 2018 Dec;31(6):285–9.
45. Viana Í, Alania Y, Feitosa S, Borges A, Braga R, Scaramucci T. Bioactive Materials Subjected to Erosion/Abrasion and Their Influence on Dental Tissues. *Oper Dent*. 2020 May 1;45(3):E114–23. DOI:10.2341/19-102-L
46. Lima LC de, Viana ÍEL, Paz SLP da, Bezerra SJC, João-Souza SH, Carvalho TS, et al. Role of desensitizing/whitening dentifrices in enamel wear. *J Dent*. 2020 Aug;99:103390. DOI:10.1016/j.jdent.2020.103390
47. Krol GLS, Wetselaar P, Attin T, Papagianni CE, Wegehaupt FJ. Impact of Brushing Protocols on Dentin Abrasion Caused by Different Abrasive Slurries. *Oral Health Prev Dent*. 2021 Jul 15;19:345–51. DOI:10.3290/j.ohpd.b1694095
48. Leal I de C, Rabelo CS, Viana ÍEL, Scaramucci T, Santiago SL, Passos VF. Hesperidin reduces dentin wear after erosion and erosion/abrasion cycling in vitro. *Arch Oral Biol*. 2021 Sep;129:105208. DOI:10.1016/j.archoralbio.2021.105208
49. ZANATTA RF, ÁVILA DM da S, MAIA MM, VIANA ÍEL, SCARAMUCCI T, TORRES CRG, et al. Protection of calcium silicate/sodium phosphate/fluoride toothpaste with serum on enamel and dentin erosive wear. *Journal of Applied Oral Science*. 2021;29. DOI:10.1590/1678-7757-2021-0081
50. CHANG YH, LEE CY, HSU MS, DU JK, CHEN KK, WU JH. Effect of toothbrush/dentifrice abrasion on weight variation, surface roughness, surface morphology and hardness of conventional and CAD/CAM denture base materials. *Dent*

- Mater J. 2021 Jan 25;40(1):220–7. DOI:10.4012/dmj.2019-226
51. de Andrade GS, Augusto MG, Simões BV, Pagani C, Saavedra G de SFA, Bresciani E. Impact of simulated toothbrushing on surface properties of chairside CAD-CAM materials: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2021 Mar;125(3):469.e1-469.e6. DOI:10.1016/j.prosdent.2020.08.028
52. Osmanaj N, Petersen S, Eisenburger M, Greuling A. Abrasion Behavior of Different Charcoal Toothpastes on Human Dentin When Using Electric Toothbrushes. *Dent J (Basel).* 2022 Mar 11;10(3):46. DOI:10.3390/dj10030046
53. Hamza B, Niedzwiecki M, Körner P, Attin T, Wegehaupt FJ. Effect of the toothbrush tuft arrangement and bristle stiffness on the abrasive dentin wear. *Sci Rep.* 2022 Jan 17;12(1):840. DOI:10.1038/s41598-022-04884-x
54. de Lima LC, Viana ÍEL, da Paz SLP, Bezerra SJC, Mayer-Santos E, Niemeyer SH, et al. Impact of desensitizing/whitening toothpastes on tooth color change after abrasion and erosion–abrasion. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2022 Sep 2;34(6):933–41. DOI:10.1111/jerd.12896
55. KIM JH, KIM S, TRUONG VM, LEE JW, PARK YS. Is whitening toothpaste safe for dental health?: RDA-PE method. *Dent Mater J.* 2022 Sep 25;41(5):2021–303. DOI:10.4012/dmj.2021-303
56. Koroğlu A, Şahin O, Küçükekenci AS, Dede DÖ, Yıldırım H, Yılmaz B. Influences of Toothbrushing and Different Toothpastes on the Surface Roughness and Color Stability of Interim Prosthodontic Materials. *Materials.* 2022 Aug 24;15(17):5831. DOI:10.3390/ma15175831
57. Picolo MZD, Kury M, Romário-Silva D, Rosalen PL, Pecorari VGA, Gianinni M, et al. Effects of gastric acid and mechanical toothbrushing in CAD-CAM restorative materials: Mechanical properties, surface topography, and biofilm adhesion. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2023 Feb;138:105606. DOI:10.1016/j.jmbbm.2022.105606
58. ISHIDA Y, MIURA D, SHINYA A. Influence of toothbrush abrasion on the surface characteristics of CAD/CAM composite resin blocks with shade gradations. *Dent Mater J.* 2023 Mar 25;42(2):2022–174. DOI:10.4012/dmj.2022-174
59. Kim JH, Kim S, Park YS. Effects of a commercial whitening toothpaste containing hydrogen peroxide and citric acid on dentin abrasion and erosion. *BMC Oral Health.* 2023 Sep 1;23(1):619. DOI:10.1186/s12903-023-03319-x
60. Sakae LO, Renzo ALM, Viana ÍEL, Niemeyer SH, Carvalho TS, Scaramucci T. Impact

- of different brushing/abrasion protocols on erosive tooth wear for in vitro studies. *Arch Oral Biol.* 2023 Apr;148:105657. DOI:10.1016/j.archoralbio.2023.105657
61. Kim JH, Kim S, Garcia-Godoy F, Park YS. Dentin abrasion using whitening toothpaste with various hydrogen peroxide concentrations. *Am J Dent.* 2023 Apr;36(2):55–61.
  62. Zoller MJ, Hamza B, Cucuzza C, Gubler A, Attin T, Wegehaupt FJ. Relative dentin and enamel abrasivity of charcoal toothpastes. *Int J Dent Hyg.* 2023 Feb 7;21(1):149–56. DOI:10.1111/idh.12634
  63. Mcilwain AK, Alshafi TA, Bashiri R, Duqum I, Sulaiman TA. Effect of simulated toothbrushing on the surface roughness of LOCATOR abutments: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2023 Sep; DOI:10.1016/j.prosdent.2023.08.026
  64. Sakae LO, Kairalla CA, Viana ÍEL, Carvalho TS, Niemeyer SH, Hara AT, et al. Characteristics of tin-containing fluoride toothpastes related to erosive tooth wear protection. *J Dent.* 2024 Apr;143:104901. DOI:10.1016/j.jdent.2024.104901
  65. Augusto MG, da Silva LFO, Lotto G, Santos TM de A, Aoki IV, Torres CRG, et al. Effect of combining aminomethacrylate and fluoride against erosive and abrasive challenges on enamel and dentin. *Eur J Oral Sci.* 2024 Oct 29;132(5). DOI:10.1111/eos.13015
  66. Sakae LO, Kairalla CA, Viana ÍEL, Carvalho TS, Niemeyer SH, Hara AT, et al. Characteristics of tin-containing fluoride toothpastes related to erosive tooth wear protection. *J Dent.* 2024 Apr;143:104901. DOI:10.1016/j.jdent.2024.104901
  67. Sá Caye LF, Cerutti Kopplin D, Frasca LC da F, Rivaldo EG, Keller Celeste R. Prevalence and severity of tooth wear and risk factors among young adults in Southern Brazil. *Revista da Faculdade de Odontologia de Porto Alegre.* 2020 Aug 20;61(1):38–47. DOI:10.22456/2177-0018.99642
  68. Carlos González-Cabezas, Anderson T. Hara, John Hefferren, Frank Lippert, 2013. "Abrasive Testing of Dentifrices - Challenges and Current State of the Art", *Toothpastes*, C. van Loveren
  69. Oudkerk J, Grenade C, Davarpanah A, Vanheusden A, Vandemput S, Mainjot AK. Risk factors of tooth wear in permanent dentition: A scoping review. *J Oral Rehabil.* 2023 Oct 14;50(10):1110–65. DOI:10.1111/joor.13489
  70. FDI World Dental Federation. Tooth Wear. *Int Dent J.* 2024;74(1):163-164. doi:10.1016/j.identj.2023.10.007
  71. Carvalho LF, Alves LMM, Bergamo ETP, Benalcazar Jalkh EB, Campos TMB, Zahoui

- A, et al. Influence of abrasive dentifrices on polymeric reconstructive material properties after simulated toothbrushing. *Biomater Investig Dent*. 2023 Dec 31;10(1). DOI:10.1080/26415275.2023.2268670
72. Denucci GC, Towle I, Turssi CP, Eckert GJ, Hara AT. Acidic/abrasive challenges on simulated non-carious cervical lesions development and morphology. *Arch Oral Biol*. 2025 Jan;169:106120. DOI:10.1016/j.archoralbio.2024.106120
73. Suzuki M, Miyano Y, Sato F, Shinkai K. Surface Properties of Resin Composites and CAD/CAM Blocks After Simulated Toothbrushing. *Oper Dent*. 2023 Sep 1;48(5):575–87. DOI:10.2341/22-123-L
74. Brasil. Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008. Regula o uso científico de animais e revoga a Lei nº 6.638, de 8 de maio de 1979. *Diário Oficial da União*. 2008 out 9; Seção 1:1.
75. Pereira TP, Vieira TAF, dos Santos W, Bezerra SJC, Sobral MÂP, Scaramucci T. Influence of different ultra-soft toothbrushes on erosive tooth wear. *J Dent*. 2023 May;132:104502.
76. Shen C, Rawls HR, Esquivel-Upshaw JF. *Phillips' science of dental materials*. 13th ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2022
77. Lewis R, Dwyer-Joyce RS. Interactions between toothbrush and toothpaste particles during simulated abrasive cleaning. *Proc Inst Mech Eng J Eng Tribol*. 2006;220(8):817–26. doi:10.1243/13506501JET96
78. BASS CC. An effective method of personal oral hygiene. *J La State Med Soc*. 1954 Feb;106(2):57-73; contd. PMID: 13130973
79. Breitenmoser J, Mörmann W, Mühlemann HR. Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingiva. *J Periodontol*. 1979 Apr;50(4):212-6. doi: 10.1902/jop.1979.50.4.212. PMID: 374707
80. Lewis, R & Dwyer-Joyce, Rob. (2005). Wear of human teeth: A tribological perspective. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part J-journal of Engineering Tribology - PROC INST MECH ENG J-J ENG TR*. 219. 2-19. 10.1243/135065005X9655
81. Enax J, Meyer F, Schulze Zur Wiesche E, Fuhrmann IC, Fabritius HO. Toothpaste Abrasion and Abrasive Particle Content: Correlating High-Resolution Profilometric Analysis with Relative Dentin Abrasivity (RDA). *Dent J (Basel)*. 2023 Mar 12;11(3):79. doi: 10.3390/dj11030079. PMID: 36975576; PMCID: PMC10047781.

82. Born N. Modern technology of cosmetics. In: Schaefer H, Redelmeier TE, editors. *Skin barrier: principles of percutaneous absorption*. Basel: Karger; 1997. p. 275–301.
83. Wiegand A, Schlueter N. Tooth erosion – An overview of in vitro and in situ studies. *J Dent*. 2014;42 Suppl 1:S1–11. doi:10.1016/j.jdent.2013.07.013.
84. Hefferren JJ. A laboratory method for assessment of dentifrice abrasivity. *J Dent Res*. 1976 Jul-Aug;55(4):563–73. doi:10.1177/00220345760550040601.
85. Shellis RP, Addy M. Interactions between attrition, abrasion and erosion in tooth wear. *Monogr Oral Sci*. 2014;25:32–45. doi:10.1159/000360916.

