



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE MEDICINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA MÉDICA**

**PRISCILA ELLEN CARNEIRO VITOR**

**EFEITOS DE AGENTES UMECTANTES SOBRE A RUGOSIDADE, ALTERAÇÃO  
DE COR, FORMAÇÃO E IMPACTO DE BIOFILME EM RESINA MICRO-HÍBRIDA  
SOB DESAFIO MICROBIOLÓGICO E EXPOSIÇÃO AO CAFÉ**

**FORTALEZA**

**2025**

**PRISCILA ELLEN CARNEIRO VITOR**

**EFEITOS DE AGENTES UMECTANTES SOBRE A RUGOSIDADE, ALTERAÇÃO  
DE COR, FORMAÇÃO E IMPACTO DE BIOFILME EM RESINA MICRO-HÍBRIDA  
SOB DESAFIO MICROBIOLÓGICO E EXPOSIÇÃO AO CAFÉ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Médica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Microbiologia Médica. Área de concentração: Microbiologia Humana e Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Lidiany Karla Azevedo Rodrigues Gerage

**FORTALEZA  
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

V828e Vitor, Priscila Ellen Carneiro.  
Efeitos de agentes umectantes sobre a rugosidade, alteração de cor, formação e impacto de biofilme em resina micro-híbrida sob desafio microbiológico e exposição ao café / Priscila Ellen Carneiro Vitor. – 2025.  
60 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Médica, Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Lidiany Karla Azevedo Rodrigues Gerage.

1. Resina composta. 2. Biofilme. 3. Streptococcus mutans. 4. Candida albicans. 5. Estabilidade de cor.  
I. Título.

CDD 616.9

---

**PRISCILA ELLEN CARNEIRO VITOR**

**EFEITOS DE AGENTES UMECTANTES SOBRE A RUGOSIDADE, ALTERAÇÃO  
DE COR, FORMAÇÃO E IMPACTO DE BIOFILME EM RESINA MICRO-HÍBRIDA  
SOB DESAFIO MICROBIOLÓGICO E EXPOSIÇÃO AO CAFÉ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Médica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Microbiologia Médica. Área de concentração: Microbiologia Humana e Animal.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lidiany Karla Azevedo Rodrigues Gerage (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC-CE)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marcelle Mattos Nascimento  
Universidade de Buffalo (BU-NY)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Delane Viana Gondim  
Universidade Federal do Ceará (UFC-CE)

A minha mãe, Maria Terla Silva Carneiro dos Santos, por ser meu exemplo, e por sempre acreditar em mim.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder forças nos dias difíceis, saúde para seguir em frente e serenidade para não desistir diante dos desafios.

À minha mãe, pelo amor incondicional, por cada palavra de apoio, cada gesto de cuidado e por ser meu alicerce em todos os momentos. Tudo o que conquistei até aqui tem muito do que aprendi com você.

À minha avó, pela presença firme, apoio e orações silenciosas que sempre me acompanharam, mesmo à distância. Sua força e ternura me inspiram todos os dias.

Ao meu marido, pelo apoio diário, pela paciência nos dias longos, pelas palavras de encorajamento e, principalmente, por acreditar em mim mesma, quando eu duvidei. Obrigada por caminhar comigo e ser meu melhor amigo e parceiro de vida.

À minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lidiany Karla Azevedo Rodrigues Gerage, por sua orientação cuidadosa, por me conduzir com firmeza e generosidade, por confiar no meu potencial e por ser parte essencial da minha trajetória acadêmica, com sua sensibilidade e rigor científico.

Aos técnicos Antônio Karine Barros Nojosa e Manoel Florindo Junior, pela amizade, pelas risadas, e por todo o suporte constante no laboratório. Sou muito grata pela disposição em ajudar sempre que precisei e pela contribuição prática que fez toda diferença no andamento do projeto.

À Sussan Daniela Salazar Segales, minha colega de laboratório, por estar comigo nessa jornada com parceria, leveza e comprometimento. Suas contribuições foram fundamentais tanto no aspecto técnico quanto na caminhada pessoal.

Às alunas de iniciação científica, Elayne Costa Silva e Isabelly Lima dos Santos, pela ajuda cuidadosa, pelo engajamento e pelo entusiasmo com a pesquisa. Vocês foram parte importante da construção deste trabalho.

À FUNCAP, pelo financiamento da bolsa de mestrado que tornou este projeto viável. O apoio à pesquisa científica transforma vidas, e eu sou prova disso.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Vanara Florêncio Passos, pela escuta atenta e pelas contribuições essenciais que ajudaram a consolidar esse trabalho.

Às professoras da banca, Dr<sup>ª</sup>. Delane Viana Gondim e Dr<sup>ª</sup>. Marcelle Mattos Nascimento pela leitura cuidadosa, pelos apontamentos construtivos e por contribuírem com rigor e generosidade para o aprimoramento desta dissertação.

Ao professor Juliano Sartori Mendonça, pelo auxílio essencial na análise estatística. Sua ajuda foi precisa e fundamental para a clareza dos resultados.

E aos amigos do PPGMM e PPGO, por todos os cafés, desabafos, risadas e trocas que tornaram essa caminhada mais leve, acolhedora e memorável. Levo comigo não só o aprendizado acadêmico, mas também a amizade de vocês.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória, minha mais sincera gratidão.

"O único limite para a realização de amanhã  
serão nossas dúvidas de hoje." (Franklin D.  
Roosevelt).



## RESUMO

A formação de biofilme e a pigmentação extrínseca comprometem a longevidade de restaurações em resinas compostas. Este estudo *in vitro* avaliou os efeitos de dois agentes umectantes, resina modeling (M) e adesivo universal (A), sobre as propriedades de superfície de uma resina micro-híbrida sob desafio microbiológico e exposição ao café. Corpos de prova circulares foram divididos em seis grupos experimentais (n=12): Controle (C), Modeling (M) e Adesivo (A), com (P+) e sem (P-) polimento. As amostras foram submetidas a um biofilme duoespécie (*S. mutans* e *C. albicans*) por 3 ou 7 dias e, subsequentemente, à imersão em café por 7 dias. Foram avaliadas a formação de biofilme (UFC), rugosidade (Ra), dureza Knoop e alteração de cor ( $\Delta E_{00}$ ). Na análise microbiológica, diferenças estatisticamente significativas entre grupos foram observadas apenas para *Candida albicans*, sendo o maior incremento da carga fúngica encontrado no grupo Controle Polido (CP+). Para a rugosidade, apenas o grupo Adesivo Sem Polimento (AP-) apresentou um aumento estatisticamente significativo ao longo do experimento. A dureza de superfície diminuiu significativamente nos grupos controle após os desafios, enquanto os grupos com agentes umectantes mantiveram maior estabilidade. Todos os grupos apresentaram alteração de cor clinicamente perceptível após a imersão em café, sem diferenças estatísticas entre si. Conclui-se que o tipo de agente umectante teve um impacto mínimo nas propriedades da resina. O fator mais determinante foi o acabamento superficial, onde o polimento se mostrou essencial para a manutenção da dureza e rugosidade, mas não foi eficaz no controle da colonização fúngica, reforçando a necessidade de estratégias adicionais para o controle microbiológico em restaurações de resina.

**Palavras-chave:** Resina composta. Biofilme. *Streptococcus mutans*. *Candida albicans*. Estabilidade de cor.

## ABSTRACT

Biofilm formation and extrinsic staining compromise the longevity of composite resin restorations. This *in vitro* study evaluated the effects of two wetting agents, modeling resin (M) and universal adhesive (A), on the surface properties of a microhybrid resin under microbiological challenge and coffee exposure. Circular specimens were divided into six experimental groups (n=12): Control (C), Modeling (M), and Adhesive (A), with (P+) and without (P-) polishing. The samples were subjected to a dual-species biofilm (*S. mutans* and *C. albicans*) for 3 or 7 days and, subsequently, to a 7-day immersion in coffee. Biofilm formation (CFU), roughness (Ra), Knoop hardness, and color change ( $\Delta E_{00}$ ) were evaluated. In the microbiological analysis, statistically significant differences between groups were observed only for *Candida albicans*, with the greatest increase in fungal load found in the Polished Control group (CP+). Regarding roughness, only the Unpolished Adhesive group (AP-) showed a statistically significant increase throughout the experiment. Surface hardness decreased significantly in the control groups after the challenges, whereas the groups with wetting agents showed greater stability. All groups exhibited a clinically perceptible color change after coffee immersion, with no significant differences among them. It was concluded that the type of wetting agent had a minimal impact on the resin properties. The most determining factor was the surface finish, where polishing proved essential for maintaining hardness and roughness but was not effective in controlling fungal colonization, reinforcing the need for additional strategies for microbial control in composite resin restorations.

**Keywords:** Composite resin. Biofilm. *Streptococcus mutans*. *Candida albicans*. Color stability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Ilustração dos estágios de adesão e desenvolvimento de um biofilme.....	24
Figura 2	Representação esquemática do delineamento temporal do estudo <i>in vitro</i> .....	37
Figura 3	Distribuição dos grupos experimentais com etapa de polimento. Cada grupo foi composto de 2 amostras (duplicata técnica). Assim, os grupos foram definidos em: CP+ (Grupo Controle Com Polimento); AP+ (Grupo Adesivo Com Polimento); MP+ (Grupo Modeling Com Polimento). Para todos os grupos foram confeccionadas 4 amostras, sendo duas amostras confeccionadas para serem submetidas ao biofilme de 3 dias e duas amostras para o biofilme de 7 dias.....	40
Figura 4	Distribuição dos grupos experimentais com etapa de polimento. Cada grupo foi composto de 2 amostras (duplicata técnica). Assim, os grupos foram definidos em: CP- (Grupo Controle Sem Polimento); AP- (Grupo Adesivo Sem Polimento); MP- (Grupo Modeling Sem Polimento). Para todos os grupos foram confeccionadas 4 amostras, sendo duas amostras confeccionadas para serem submetidas ao biofilme de 3 dias e duas amostras para o biofilme de 7 dias.....	40
Figura 5	Distribuição esquemática das amostras na placa de 24 poços. Na parte superior, as amostras sem polimento e na parte inferior, as amostras com polimento. No canto inferior esquerdo, um poço foi utilizado para avaliação de contaminação do caldo de BHI ao longo dos dias em que a troca de caldo foi realizada.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Média ( $\pm$ desvio padrão) dos dados de peso úmido ( $\text{mg} \cdot 10^{-2}$ ), peso seco ( $\text{mg} \cdot 10^{-2}$ ) e unidades formadoras de colônia ( $\text{Log}_{10}$ UFC) para <i>S. mutans</i> e <i>C. albicans</i> nos diferentes grupos e tempos. O asterisco (*) indica diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os períodos de 3 e 7 dias dentro do mesmo grupo.....	45
Tabela 2 –	Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) da rugosidade de superfície (Ra em $\mu\text{m}$ ) para os diferentes grupos nos momentos inicial, pós-biofilme e pós-café. <i>Letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam ausência de diferença estatística entre os grupos (<math>p &gt; 0,05</math>). Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam ausência de diferença estatística entre os momentos de avaliação (<math>p &gt; 0,05</math>)</i> .....	46
Tabela 3 –	Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) da alteração de cor ( $\Delta E_{00}$ ) para os diferentes grupos e períodos de comparação. $\Delta E_{001}$ : inicial vs. pós-biofilme; $\Delta E_{002}$ : inicial vs. pós-café; $\Delta E_{003}$ : pós-biofilme vs. pós-café. <i>Letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam ausência de diferença estatística entre os grupos (<math>p &gt; 0,05</math>)</i> .....	46
Tabela 4 –	Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) da microdureza Knoop (KHN) para os diferentes grupos nos momentos inicial, pós-biofilme e pós-café. <i>Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam ausência de diferença estatística entre os momentos de avaliação (<math>p &gt; 0,05</math>)</i> .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPS	Exopolissacarídeos
GTF	Glicosiltransferase
$R_a$	Valor de rugosidade
Bis-GMA	A-glicidil metacrilato
UDMA	Dimetacrilato de uretano
TEGDMA	Dimetacrilato de trietilenoglicol
BisHPPP	2,2-bis[4(2,3-hidroxipropoxi)fenil]propano
TEG	Trietilenoglicol
BHI	Brain Heart Infusion
MSA	<i>Mitis Salivarius Agar</i>
ATCC	American Type Culture Collection
UA159	Identificação da cepa de <i>S. mutans</i>
$\Delta E$	Delta E - Variação de cor
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
Kg	Unidade Internacional de Medida - Kilograma
mL	Unidade Internacional de Medida - Mililitro
$\mu\text{L}$	Unidade Internacional de Medida - Microlitro
CP+	Grupo Controle Com Polimento
AP+	Grupo Adesivo Com Polimento
MP+	Grupo Modeling Com Polimento
CP-	Grupo Controle Sem Polimento
AP-	Grupo Adesivo Sem Polimento
MP-	Grupo Modeling Sem Polimento
3D	3 dias
7D	7 dias
Ra_T0	Medição inicial da rugosidade dos espécimes
Ra_T1	Medição da rugosidade após biofilme
Ra_T2	Medição da rugosidade após o desafio pigmentante com café
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
NaCl	Cloreto de Sódio

## LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem  
© Copyright  
™ Marca registrada  
® Marca Registrada  
°C Grau Celsius

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Cárie Dentária .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>O Papel dos Microrganismos Cariogênicos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Materiais Restauradores.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>Agentes Umectantes.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>Influência de Biofilme e Dieta na Degradação dos Materiais.....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>HIPÓTESES.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>32</b>
<b>5.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>Delineamento Experimental.....</b>	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b>Preparo dos Espécimes de resina.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3</b>	<b>Rugosidade.....</b>	<b>36</b>
<b>6.4</b>	<b>Teste de Dureza (<i>Knoop</i>).....</b>	<b>36</b>
<b>6.5</b>	<b>Avaliação de Cor e Manchamento.....</b>	<b>36</b>
<b>6.6</b>	<b>Ativação das Cepas de Levedura.....</b>	<b>39</b>
<b>6.7</b>	<b>Ativação das Cepas Bacterianas.....</b>	<b>39</b>
<b>6.8</b>	<b>Preparo do inóculo e Modelo de formação do Biofilme.....</b>	<b>39</b>
<b>6.9</b>	<b>Coleta do biofilme.....</b>	<b>40</b>
<b>6.10</b>	<b>Peso Úmido do Biofilme.....</b>	<b>40</b>
<b>6.12</b>	<b>Peso Seco do Biofilme.....</b>	<b>41</b>
<b>6.13</b>	<b>Análise Estatística.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>7.1</b>	<b>Unidades Formadoras de Colônia, Peso Úmido e Peso Seco.....</b>	<b>42</b>
<b>7.2</b>	<b>Rugosidade.....</b>	<b>42</b>
<b>7.3</b>	<b>Cor.....</b>	<b>43</b>
<b>7.4</b>	<b>Microdureza.....</b>	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cárie dentária continua sendo uma das doenças crônicas mais prevalentes na população mundial, com impacto significativo na saúde pública e na qualidade de vida dos indivíduos. Trata-se de uma condição multifatorial, dinâmica e biofilme-dependente, em que a desmineralização dos tecidos dentários resulta do metabolismo bacteriano em microambientes ácidos, associados a uma higiene bucal inadequada, dieta rica em carboidratos fermentáveis e fluxo salivar reduzido (Marsh *et al.*, 2017; Meyer, 2024; Wolff *et al.*, 2009).

O desenvolvimento da cárie está intrinsecamente ligado à presença de biofilme sobre a superfície dentária, sendo o *Streptococcus mutans* uma das espécies mais estudadas por sua capacidade de metabolizar açúcares, produzir ácidos orgânicos e sintetizar exopolissacarídeos que conferem estrutura ao biofilme (Huffines *et al.*, 2020; Meyer, 2024). A associação com o fungo *Candida albicans* agrava esse cenário, pois estudos demonstram que interações sinérgicas entre essas espécies elevam a resistência e a virulência do biofilme, tornando-o mais ácido, espesso e difícil de ser removido (Huffines *et al.*, 2020; Negrini *et al.*, 2022). Xiang *et al.* (2023) relataram que a presença de *C. albicans* se correlaciona positivamente com a prevalência de *S. mutans*, intensificando a formação de biofilme e favorecendo o desenvolvimento de lesões de cárie com rápida progressão.

Frente à progressão da lesão cariosa, o uso de materiais restauradores torna-se essencial para a reabilitação funcional e estética do elemento dental. Dentre os materiais disponíveis, as resinas compostas destacam-se por sua versatilidade, propriedades físico-mecânicas satisfatórias e excelente resultado estético (Wolff *et al.*, 2009). Atualmente, são o material restaurador direto mais utilizado no tratamento de lesões, permitindo, em associação aos sistemas adesivos, preparos conservativos e orientados pelo defeito, o que permite que o profissional limite a remoção de tecido dentário apenas à área comprometida, seja por cárie, erosão, fratura ou demanda estética (Heintze *et al.*, 2022).

Dentre as diferentes categorias de compósitos disponíveis, as resinas micro-híbridas merecem atenção especial por sua ampla utilização clínica e longa trajetória de avaliação científica. Em revisões sistemáticas recentes, elas se destacaram como a classe mais frequentemente estudada, com número superior de restaurações analisadas em comparação às resinas *bulk fill*, híbridas e nanohíbridas (Heintze *et al.*, 2022). Essa expressiva representatividade clínica, aliada à possível maior sensibilidade a alterações de superfície, como



rugosidade e perda de brilho (Heintze *et al.*, 2022), reforça a relevância de investigações que aprofundem o comportamento desses materiais frente aos desafios impostos pelo meio bucal.

Entre esses desafios, destacam-se os fatores extrínsecos que podem comprometer a longevidade clínica das restaurações, como a ação ácida do biofilme cariogênico e a exposição frequente a pigmentos dietéticos, sendo o café um dos principais agentes escurecedores, devido à presença de taninos e compostos polifenólicos solúveis em água (Frauenhoffer *et al.*, 2018; Meyer, 2024; Mohammad *et al.*, 2023).

Nesse contexto, diante da crescente adoção das resinas compostas como principal material restaurador, avanços tecnológicos têm buscado não apenas aprimorar suas propriedades físico-químicas, mas também facilitar sua aplicação clínica. Foi nesse cenário que surgiram os agentes modeladores ou umectantes, desenvolvidos para otimizar o manuseio do compósito durante sua inserção e escultura, especialmente em cavidades de difícil acesso. Esses produtos são compostos fluidos, de baixa viscosidade e com ausência ou reduzida concentração de cargas inorgânicas, capazes de reduzir a tensão superficial entre o instrumento e o material restaurador, favorecendo a aplicação por incrementos e promovendo uma melhor adaptação marginal (Paolone *et al.*, 2023).

Embora existam resinas modeladoras formuladas especificamente para atuar como agentes umectantes, observa-se na prática clínica a utilização frequente de adesivos universais com essa finalidade. Essa aplicação, no entanto, é realizada de forma empírica, sem respaldo explícito dos fabricantes ou validação em protocolos clínicos padronizados (Dutra *et al.*, 2018; Hao *et al.*, 2018). A escolha por esses adesivos deve-se, muitas vezes, à sua disponibilidade no consultório, fluidez e capacidade de espalhamento, que se assemelham às características desejadas em um agente modelador.

É importante destacar que os adesivos universais apresentam composição distinta das resinas modeladoras, contendo monômeros hidrofílicos e sistemas de fotoiniciação (Fidan & Yağcı, 2023). Quando aplicados como uma camada superficial e não submetidos a um acabamento e polimento rigorosos, esses agentes criam uma nova interface na restauração. Essa camada superficial, rica em matriz resinosa e com pouca ou nenhuma carga (Bayraktar *et al.*, 2021; Paolone *et al.*, 2023), possui duas características biológicas cruciais: potencial para lixiviação de monômeros e alteração das propriedades de superfície.

A lixiviação de componentes não reagidos, como o TEGDMA, pode influenciar diretamente o metabolismo de microrganismos como o *Streptococcus mutans*, estimulando a formação de biofilme e favorecendo a adesão bacteriana (Sadeghinejad *et al.*, 2016; Singh *et*

*al.*, 2009). Adicionalmente, a alteração da química superficial pode modificar a energia livre de superfície e a hidrofobicidade da restauração, fatores que são determinantes para a adesão inicial de microrganismos, incluindo a *Candida albicans* (Ilic *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2021).

Diante desses mecanismos, não surpreende que estudos anteriores já tenham demonstrado que agentes umectantes podem alterar a rugosidade, favorecer a adesão de microrganismos e aumentar a absorção de pigmentos, comprometendo a longevidade clínica das restaurações (Hao *et al.*, 2018; Shafiei & Nikfarjam, 2017; Zhang *et al.*, 2024). Contudo, ainda são limitadas as evidências sobre como esses efeitos se manifestam sob o desafio combinado de um biofilme duoespécie e um agente pigmentante como o café, o que justifica a presente investigação.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar, *in vitro*, o impacto do uso de uma resina modeladora e de um adesivo universal, este último avaliado como material umectante, embora seu uso com essa finalidade não seja indicado, sendo adotado de forma empírica por muitos cirurgiões-dentistas, sobre a rugosidade, microdureza, formação de biofilme e estabilidade de cor de uma resina composta micro-híbrida.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cárie Dentária

A cavidade oral abriga uma microbiota altamente diversa, composta por bactérias, fungos, vírus, micoplasmas, Archaea e protozoários, que coexistem em um ambiente dinâmico e interdependente (Yangheng *et al.*, 2018). Dessa forma, tem-se que em condições normais, o microbiota oral estabelece uma relação simbiótica com o hospedeiro, e proporciona benefícios essenciais à saúde e ao bem-estar geral (Marsh *et al.*, 2017). No entanto, fatores como higiene bucal inadequada, alterações na dieta e condições sistêmicas podem interferir nesse equilíbrio, levando a um comprometimento das interações microbianas.

O desenvolvimento da lesão de cárie está diretamente associado a um ambiente disbiótico previamente estabelecido (Pitts *et al.*, 2021). A alteração na composição da microbiota bucal favorece a proliferação excessiva de um número restrito de espécies (Kilian *et al.*, 2016) e o predomínio de determinadas espécies acidogênicas e acidúricas. Dessa maneira, microrganismos que, em condições de equilíbrio, apresentam baixa representatividade, passam a predominar no biofilme, intensificando o processo de desmineralização dos tecidos dentários e contribuindo para a formação e evolução das lesões cariosas.

Dessa forma, a cárie dentária é uma doença multifatorial e dinâmica, mediada por biofilme e induzida pela ingestão de açúcares, que promove ciclos de desmineralização e remineralização dos tecidos dentários, podendo acometer a dentição decídua e permanente ao longo da vida (Pitts *et al.*, 2017). Ela ainda é o principal problema de saúde bucal na maioria dos países industrializados, sendo a principal responsável por perdas dentárias, e comprometendo o desempenho nas atividades diárias e o bem-estar emocional dos indivíduos (Frazão, 2012).

Os fatores envolvidos na etiologia da cárie são classificados em dois grandes grupos: fatores genéticos e fatores ambientais (Grigaluskienė *et al.*, 2015). Dentro deste contexto, a teoria mais aceita atualmente considera a interação de quatro elementos principais microrganismos orais, ambiente bucal, hospedeiro e tempo, como determinantes para o desenvolvimento da doença. A exposição frequente a carboidratos na dieta favorece o acúmulo de microrganismos acidogênicos e acidúricos na cavidade oral, resultando em um estado de disbiose do biofilme dentário aderido à superfície do esmalte (Selwitz *et al.*, 2007).

Assim, a ingestão frequente de açúcares promove uma redução do pH do meio bucal, favorecendo o crescimento de microrganismos acidogênicos e acidúricos, especialmente em condições de fluxo salivar diminuído e higiene bucal inadequada (Pitts *et al.*, 2021). O açúcar é utilizado na produção de glicano extracelular, um polissacarídeo pegajoso que auxilia na adesão à estrutura dentária, e contribui para a adesão de outras bactérias orais, auxiliando a formação do biofilme cariogênico (Meyer *et al.*, 2024). Dentre as principais bactérias e fungos presentes nessa placa, e envolvidos no processo de cárie, pode-se citar o *Streptococcus mutans* e outros estreptococos de baixo pH, *Actinomyces spp.*, *Lactobacillus spp.*, e a *Candida albicans* (Meyer *et al.*, 2024).

É importante destacar que a cárie se desenvolve ao longo do tempo, como resultado da interação contínua entre os fatores etiológicos envolvidos (Selwitz *et al.*, 2007). Dessa forma, não apenas a presença do açúcar é um fator decisivo para o surgimento da doença cárie, mas a remoção inconsistente da placa leva à formação do biofilme cariogênico (Meyer *et al.*, 2024).

Quanto ao fator do hospedeiro, a suscetibilidade à cárie pode ser analisada em dois níveis: do indivíduo e do próprio dente, onde a suscetibilidade do indivíduo envolve fatores extrínsecos (aspectos socioculturais, hábitos de higiene, etc.), e fatores intrínsecos (características hereditárias, imunológicas e propriedades da saliva). Já a suscetibilidade do dente está relacionada principalmente ao grau de mineralização do esmalte, que determina sua resistência à desmineralização ácida, sendo influenciada tanto por fatores intrínsecos, presentes durante a formação dentária, quanto por fatores extrínsecos, ligados ao ambiente bucal e aos cuidados locais (Lima, 2007).

## **2.2 O Papel dos Microrganismos Cariogênicos**

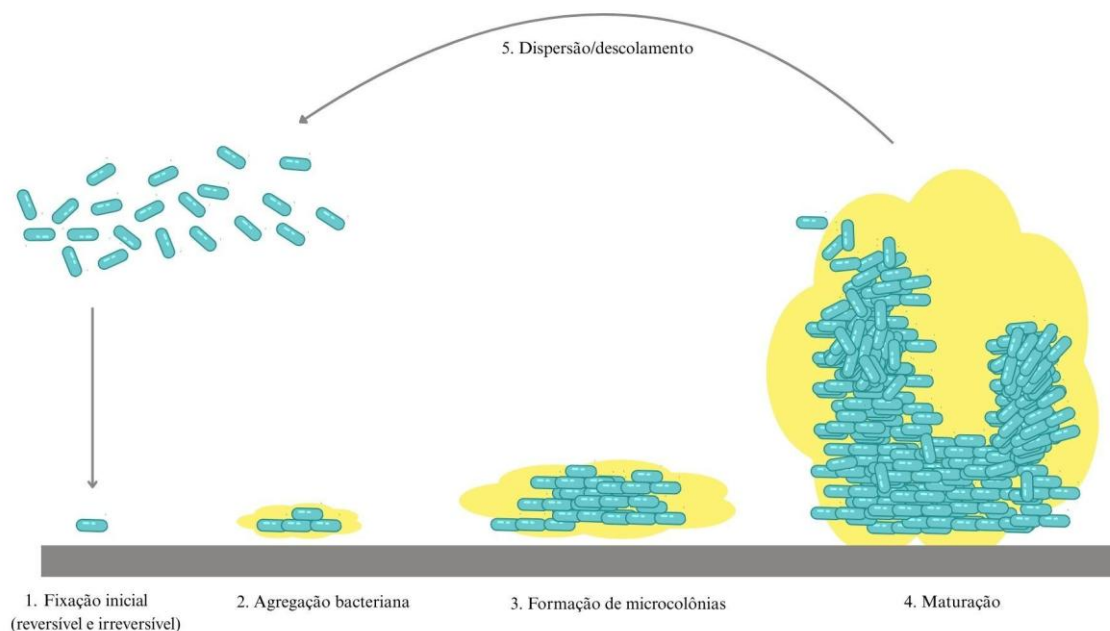
O biofilme oral é uma estrutura complexa, tridimensional, composta por diferentes microrganismos que habitam a cavidade oral (Zayed *et al.*, 2021). Essas estruturas oferecem vantagens adaptativas aos microrganismos, incluindo maior resistência a agentes antimicrobianos e ao sistema imunológico do hospedeiro (Engel *et al.*, 2020). Entretanto, em um estado de disbiose, o biofilme oral pode levar ao desenvolvimento de lesões de cárie, gengivite, periodontite, além de infecções e inclusive falhas em implantes (Lin, 2017).

O estabelecimento e desenvolvimento do biofilme é caracterizado por cinco estágios: (a) adesão inicial (reversível e irreversível) de bactérias individuais, (b) agregação

bacteriana, (c) formação de microcolônias, (d) maturação e (e) dispersão/descolamento (Neves *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2023), como pode ser visto na Figura 1. Os colonizadores iniciais dessa superfície precisam resistir a altas concentrações de oxigênio e, ao mesmo tempo, aos fatores naturais de remoção, como a mastigação, a deglutição e o próprio fluxo salivar. Dessa forma, esses microrganismos pioneiros permitem que outros que não possuem adesão direta ao dente possam também colonizar a superfície, por meio de interações específicas, que permitem que bactérias com características opostas, como aeróbicas e anaeróbicas, possam sobreviver juntas, com um micro-ambiente anaeróbico criado pela bactéria que utiliza oxigênio (Trein *et al.*, 2006).

Diversos fatores podem influenciar o desenvolvimento e o acúmulo de biofilme oral, como má higiene bucal de má qualidade, restaurações com superfícies ásperas e fatores genéticos (Barbosa *et al.*, 2022). Assim, o biofilme acumulado, torna-se um local de proliferação e crescimento bacteriano, de regulação ácido-base na superfície do dente e também um reservatório para troca iônica de cálcio entre o dente e a saliva (Wolff & Larson 2009).

Figura 1 – Ilustração dos estágios de adesão e desenvolvimento de um biofilme.



Fonte: autor (adaptado de Neves *et al.*, 2021)

Na presença desse ambiente ácido, o *Streptococcus mutans*, um importante patógeno cariogênico, torna-se dominante na comunidade do biofilme e auxilia na progressão da cárie dentária (Spatafora, *et al.*, 2018). Muito embora o *S. mutans* esteja presente na

microbiota oral saudável, ele ainda é considerado um patógeno da cavidade oral, pois sua presença geralmente indica uma correlação positiva com a cárie dentária (Dinis *et al.*, 2022).

Dessa forma, o *S. mutans* é um patógeno Gram-positivo, que pode ser classificado em quatro grupos sorológicos (*c*, *e*, *f* e *k*), com aproximadamente 75% das cepas isoladas da placa dentária pertencentes ao sorotipo *c*, 20% ao sorotipo *e*, e os 5% restantes classificados como sorotipos *f* ou *k* (Perch *et al.*, 1974). Possui capacidade de metabolizar eficientemente carboidratos dietéticos em ácido láctico, resistir a ambientes ácidos e produzir glucanos insolúveis, os quais são exopolissacarídeos dependentes de sacarose e sintetizados por glicosiltransferases, que formam uma matriz extracelular densa, e é um importante fator de virulência que permite a formação de biofilmes robustos (Huffines *et al.*, 2020).

Embora o *Streptococcus mutans* seja associado à cárie dentária, sua presença isolada não é suficiente para causar a doença, que resulta da disbiose de um biofilme formado por múltiplos microrganismos com interações sinérgicas e/ou antagonistas (Huffines *et al.*, 2020). Assim, dentro da comunidade microbiana as interações entre bactérias e fungos têm sido progressivamente associadas à patogênese de diversas doenças, sendo implicadas, inclusive, no aumento da virulência dos biofilmes dentários (Negrini *et al.*, 2022). Dessa forma, a presença da *Candida albicans* apresenta uma correlação positiva com uma maior prevalência do *Streptococcus mutans*, podendo aumentar sinergicamente a colonização microbiana nos dentes e induzir o desenvolvimento de lesões de cárie com rápida destruição tecidual, e ser, portanto, associada a uma maior gravidade da doença.

Diante disso, a presença da *Candida albicans* apresenta uma correlação positiva com uma maior prevalência do *Streptococcus mutans*, sugerindo uma relação positiva entre esses microrganismos que pode favorecer a formação de biofilmes mais virulentos e estar relacionada à maior gravidade da doença, especialmente em crianças com cárie da primeira infância (Garcia *et al.*, 2021). Assim, a *C. albicans* é caracterizada primariamente por sua morfologia colonial úmida, cremosa, e de aspecto liso ou rugoso e coloração branco-amarelada em meio de cultura ágar *Sabouraud*, e ainda, seu crescimento favorecido em temperaturas variando entre 20°C a 38°C (Santana *et al.*, 2013). Ela possui uma série de fatores de virulência que contribuem para o potencial patogênico, entre eles destaca-se a expressão de proteínas importantes para adesão e invasão (Talapko *et al.*, 2021).

A *C. albicans* é um fungo normalmente presente como comensal nas mucosas da boca, do sistema digestivo e do trato geniturinário dos indivíduos (Ganguly & Mitchell, 2011). Entretanto, apenas em estado de disbiose, ocorre a transição da flora normal para o patógeno e

uma infecção oportunista, dando origem à expressão dos fatores de virulência e formação de biofilmes (Talapko *et al.*, 2021).

Dessa forma, alguns estudos clínicos vêm demonstrando uma maior prevalência de *C. albicans* em associação com altos números de *S. mutans*, especialmente em biofilmes de crianças com cárie recorrente (Garcia *et al.*, 2021). Essa coinfeção resulta em maior formação de biomassa de biofilme e intensificação da cárie dentária, quando comparada à infecção por um único microrganismo (Huffines *et al.*, 2020).

A *C. albicans* então cresce em rachaduras de esmalte, regiões de esmalte fraturado, bem como penetra nos túbulos dentinários (Yang *et al.*, 2020). Entretanto, a formação desse biofilme não se restringe apenas aos tecidos duros e moles da cavidade oral, mas também aos materiais dentários utilizados em tratamentos reabilitadores e estéticos. Esse processo resulta na degradação do material, deixando sua superfície irregular e favorecendo a invasão de bactérias colonizadoras na interface entre a restauração e o dente, o que pode levar ao desenvolvimento de cáries secundárias e comprometimento pulpar (Busscher *et al.*, 2010).

Ressalta-se que a capacidade de *Candida spp.* aderir aos dentes e se associar ao *Streptococcus mutans* depende da presença de açúcar, que atua como substrato para a enzima glicosiltransferase, produzida por *S. mutans*, responsável pela síntese de glucanos que conferem maior coesão ao biofilme e permitem a fixação da levedura à superfície dentária (Hwang *et al.*, 2020). Ainda, os exopolissacarídeos (EPS) produzidos pelas glicosiltransferases atuam como importantes mediadores na formação de biofilmes de co-espécies, sendo que a interação com *Candida albicans* induz a expressão de genes de virulência em *Streptococcus mutans* (Salehi *et al.*, 2020).

Assim, a interação entre esses dois microorganismos aumenta sinergicamente a virulência de biofilmes de placa, contribuindo para formas mais agressivas de cárie dentária (Hwang *et al.*, 2020), uma vez que *Candida albicans* é capaz de modular o pH desse biofilme duo-espécie elevando-o para valores acima do pH crítico de desmineralização do esmalte, além de aumentar o crescimento, aptidão e acumulação de *S. mutans*, levando ao desenvolvimento de um biofilme mais volumoso (Salehi *et al.*, 2020).

O desenvolvimento e a progressão da cárie dentária dependem da presença do biofilme na superfície do dente e do tempo de exposição dessa estrutura aos fatores cariogênicos. Sendo assim, a atividade metabólica deste biofilme é o fator principal para o início da desmineralização (Silva *et al.*, 2017).

No tocante ao diagnóstico da cárie dentária, ele é baseado no exame clínico, e frequentemente apoiado pela presença de um exame radiográfico (Warreth, 2023). Já o tratamento deve ser definido conforme a extensão da lesão, sendo classificado em terapias não invasivas, micro invasivas e invasivas (Schwendicke *et al.*, 2019). Os tratamentos não invasivos e minimamente invasivos envolvem a remoção atraumática do tecido cariado e a aplicação tópica de agentes preventivos, como flúor, fluoreto de sódio e clorexidina, em forma de géis, vernizes ou enxaguatórios bucais (Schwendicke *et al.*, 2019). As abordagens invasivas, por outro lado, são indicadas para lesões mais extensas, e incluem restaurações com resina composta, próteses (para lesões muito profundas) e até mesmo terapia a laser (Urquhart *et al.*, 2018). Assim, em lesões já cavitadas a restauração com resina composta se torna necessária, não apenas para devolver a forma e função do dente, recuperando a integridade do dente (Kidd, 2010).

### **2.3 Materiais restauradores**

As resinas compostas se consolidaram como o material restaurador mais utilizado na odontologia, em razão de sua estética favorável, boas propriedades físico-químicas, custo acessível, versatilidade de aplicação e desempenho clínico satisfatório (Ferracane, 2024). Desde a sua criação, esse material passou por inúmeros avanços tecnológicos, com melhorias significativas na tecnologia de carga, além de alterações notáveis no formato e principalmente no tamanho das partículas (Bayraktar *et al.*, 2021).

As resinas inicialmente desenvolvidas continham partículas de grande diâmetro (até 50  $\mu\text{m}$ ), sendo por isso denominadas macroparticuladas. No entanto, esse tamanho grande dificultava o polimento e comprometia a manutenção da lisura superficial. Assim, para melhorar a estética e facilidade de polimento, surgiram as resinas microparticuladas, com partículas menores ( $\sim 40 \text{ nm}$ ). O desenvolvimento de compósitos híbridos se deu posteriormente, combinando partículas macro e micro para alcançar um equilíbrio entre resistência mecânica e propriedades estéticas (Ferracane, 2011).

Com o avanço da tecnologia, as resinas compostas passaram a incorporar predominantemente partículas em escala nanométrica, frequentemente inferiores a 1  $\mu\text{m}$ . Nos compósitos micro-híbridos, a formulação combina partículas vítreas micrométricas com nanopartículas de aproximadamente 20 nm (Ning *et al.*, 2021). Por essa razão, a distinção entre resinas micro-híbridas e nano-híbridas torna-se pouco evidente, já que ambas apresentam uma



composição mista de partículas micro e nanométricas, com distribuição de tamanhos bastante semelhante (Wang *et al.*, 2021).

Devido à combinação equilibrada entre resistência mecânica e facilidade de polimento, as resinas micro-híbridas são amplamente reconhecidas como compósitos universais, indicadas para uma variedade de aplicações clínicas, tanto em dentes anteriores quanto posteriores (Ferracane, 2011). Além dessa versatilidade, destacam-se por apresentar alta microdureza, superfície lisa e boa estabilidade de cor mesmo quando expostas a soluções pigmentantes como o café, registrando menores valores de  $\Delta E$  em comparação aos compósitos nanohíbridos, desempenho atribuído à menor absorção de água e à composição da matriz orgânica (Faris *et al.*, 2023; Nair *et al.*, 2021; Silva, 2022). No entanto, em relação à correspondência de cor, textura superficial e forma anatômica, os compósitos nanohíbridos não demonstraram desempenho significativamente superior aos híbridos ou micro-híbridos (Heintze *et al.*, 2022).

Para compreender o desempenho clínico das resinas micro-híbridas frente às exigências do ambiente bucal, torna-se fundamental a análise de propriedades físico-mecânicas que impactam diretamente sua durabilidade e funcionalidade. Entre essas propriedades, destacam-se a microdureza, relacionada à resistência à deformação; a rugosidade de superfície, que influencia na retenção de biofilme, no desgaste mecânico e na estética; e a estabilidade de cor, essencial para a manutenção da aparência da restauração ao longo do tempo. Tais variáveis afetam diretamente a resistência ao desgaste, a adesão bacteriana, a integridade marginal e o comportamento estético das restaurações, sendo influenciadas por fatores intrínsecos, tais como a composição da matriz orgânica e das cargas inorgânicas, e extrínsecos, incluindo forças mastigatórias, pH, exposição a agentes pigmentantes e presença de biofilme (Silva *et al.*, 2020; Tuncer *et al.*, 2013).

Dentre essas propriedades, a microdureza assume papel central, especialmente por seu impacto direto na resistência ao desgaste e na estabilidade estrutural das restaurações. Definida como a capacidade de um material sólido resistir à deformação permanente por indentação ou penetração, a microdureza é particularmente relevante nas etapas de acabamento e polimento, bem como em restaurações submetidas a áreas extensas de carga mastigatória (Monterubbianesi *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2010). Materiais com menor dureza de superfície tendem a apresentar maior propensão ao desenvolvimento de rugosidade, o que compromete a resistência à fadiga e pode levar à falha precoce da restauração. Dessa forma, a baixa dureza de superfície está associada a maior suscetibilidade ao desgaste e à formação de

superfícies irregulares, o que pode comprometer a longevidade clínica das restaurações em resina composta (Monterubbianesi *et al.*, 2016).

Como já explicitado, a rugosidade da superfície de resinas compostas está diretamente relacionada à composição química do material, incluindo o tipo, formato, tamanho e proporção das partículas de carga inorgânica presentes em sua formulação (Vinagre *et al.*, 2023). Evidências da literatura indicam que valores de rugosidade (Ra) inferiores a 0,2  $\mu\text{m}$  são considerados ideais, pois contribuem para a redução da adesão bacteriana e, consequentemente, para a prevenção de lesões de cárie secundária (lesões ao redor das restaurações) e de processos inflamatórios periodontais (Vinagre *et al.*, 2023). Além disso, a rugosidade final da superfície é fortemente influenciada pelas propriedades mecânicas intrínsecas do material restaurador, como dureza e resistência ao desgaste (Biçer *et al.*, 2024). Portanto, a rugosidade de superfície impacta de forma significativa a retenção de biofilme, favorece a formação de manchas extrínsecas e contribui para a perda de brilho ao longo do tempo, comprometendo tanto a estética quanto a longevidade clínica das restaurações (Tuncer *et al.*, 2013).

A estabilidade de cor do compósito está intrinsecamente relacionada à estética final da restauração, sendo considerada uma das propriedades mais relevantes das resinas compostas (Sedrez-Porto *et al.*, 2016), pois influencia diretamente a harmonia visual do sorriso e a satisfação do paciente. Diante disso, a própria exposição da resina ao meio bucal pode levar à alteração de cor, influenciada tanto por fatores extrínsecos, como a qualidade da higiene oral, quanto por características intrínsecas do material, tais como grau de sorção de água, suscetibilidade à oxidação e composição da matriz orgânica (Queiroz *et al.*, 2022). Além disso, restaurações com superfícies mais rugosas tendem a ser mais suscetíveis à pigmentação extrínseca por substâncias como café, chá e vinho tinto, resultando em comprometimento estético ao longo do tempo (Tuncer *et al.*, 2013).

Considerando, portanto, a relevância clínica das propriedades físico-mecânicas e estéticas das resinas compostas, diferentes estratégias vêm sendo propostas para otimizar seu manuseio e desempenho durante o procedimento restaurador. Entre essas, destaca-se o uso de agentes umectantes, que têm sido empregados com o objetivo de reduzir a tensão superficial entre o compósito e os instrumentos operatórios, facilitando sua inserção e adaptação à cavidade preparada (Duarte *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2021).

## 2.4 Agentes umectantes

Os agentes umectantes ou modeladores são materiais à base de matriz resinosa, com pouca ou nenhuma carga inorgânica em sua composição, desenvolvidos para otimizar a manipulação clínica das resinas compostas devido às suas propriedades físico-químicas favoráveis (Bayraktar *et al.*, 2021). De acordo com os fabricantes, esses materiais atuam como lubrificantes, reduzindo a aderência do compósito aos instrumentos, auxiliando sua adaptação às cavidades e favorecendo o processo de escultura (Pereira *et al.*, 2021).

Os chamados líquidos de modelagem, por sua vez, consistem em resinas não carregadas, geralmente formuladas com monômeros metacrilatos como bisfenol A-glicidil metacrilato (Bis-GMA), dimetacrilato de uretano (UDMA) e dimetacrilato de trietilenoglicol (TEGDMA). Por apresentarem composição predominantemente hidrofóbica e reduzido teor (ou ausência) de partículas inorgânicas, espera-se que não promovam alterações estruturais significativas no interior do compósito (Dinçtürk *et al.*, 2023).

Dessa forma, além de facilitar o manuseio das resinas compostas convencionais, os agentes umectantes também apresentam a capacidade de preencher e cobrir imperfeições na restauração, difundindo-se por porosidades geradas durante o procedimento de estratificação da resina. Além disso, esses materiais têm demonstrado potencial para melhorar propriedades importantes dos compósitos, como a resistência coesiva, a rugosidade de superfície e a estabilidade de cor (Bayraktar *et al.*, 2021; Sedrez-Porto *et al.*, 2017).

Por outro lado, tanto em cursos de educação continuada quanto na prática clínica, tem-se observado o uso de adesivos resinosos como líquidos modeladores na aplicação de compósitos. Essa estratégia busca reduzir a tensão superficial entre o material restaurador e os instrumentos aplicadores, facilitando seu manuseio e adaptação à cavidade preparada (Münchow *et al.*, 2016), usando um material amplamente disponível na rotina clínica.

Os sistemas adesivos apresentam composição mais complexa, composta por iniciadores de polimerização, solventes e uma combinação de monômeros hidrofílicos e hidrofóbicos (Fidan & Yağcı, 2021). Embora possam favorecer a redução de bolhas de ar e porosidades na restauração, graças à sua capacidade de penetrar em microespaços com facilidade, ainda não há evidências na literatura sobre os efeitos da interação entre esses materiais no desempenho final das resinas compostas (Münchow *et al.*, 2016).

Dessa forma, embora os agentes umectantes e adesivos possam oferecer vantagens operatórias durante a aplicação clínica, persistem preocupações quanto aos possíveis impactos adversos desses materiais sobre as propriedades físico-mecânicas do compósito. Estudos

indicam que sua utilização pode estar associada a alterações negativas, como redução da microdureza, aumento da rugosidade de superfície e comprometimento da estabilidade de cor (Bayraktar *et al.*, 2021; Tuncer *et al.*, 2013).

## 2.5 Influência de Biofilme e Dieta na Degradação dos Materiais

A aderência de microrganismos e o desenvolvimento do biofilme cariogênico estão relacionados às propriedades do material utilizado, sendo influenciados por fatores como composição química, liberação de íons e rugosidade de superfície (Brito, 2020). Sob essa perspectiva, componentes presentes na resina composta, como o TEGDMA, e subprodutos de sua degradação, como TEG e BisHPPP, demonstram capacidade de estimular o *Streptococcus mutans* na formação de biofilme, favorecendo a aderência bacteriana, intensificando a colonização da superfície restauradora e contribuindo para a degradação do material restaurador (Sadeghinejad *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2009).

Além dos efeitos microbiológicos, fatores extrínsecos, como alimentos e bebidas pigmentadas, também comprometem a integridade estética das resinas compostas. O café, por exemplo, apresenta alto potencial de pigmentação, sendo capaz de causar alterações de cor perceptíveis a olho nu mesmo após curtos períodos de exposição (Szesz *et al.*, 2011). Esse efeito está principalmente relacionado à presença de melanoidinas, compostos nitrogenados de alto peso molecular e coloração marrom, formados durante a torrefação dos grãos (Korac *et al.*, 2022). Em decorrência disso, a exposição prolongada das resinas compostas a bebidas pigmentadas, como o café, pode provocar alterações significativas na cor e na rugosidade de superfície dos materiais restauradores (Aydın *et al.*, 2021; Soliman *et al.*, 2021; Tavangar *et al.*, 2018). Tais mudanças decorrem da absorção de pigmentos pela matriz resinosa e da degradação superficial do compósito, resultando em perda de brilho e comprometimento estético (Bagheri *et al.*, 2005; Ergücü *et al.*, 2008; Gönülol & Yılmaz, 2012). Além disso, superfícies com maior rugosidade tendem a favorecer a adesão bacteriana, contribuindo para o acúmulo de biofilme e acelerando a degradação dos materiais restauradores (Sengupta *et al.*, 2023).

Esse cenário torna-se ainda mais relevante ao se considerar o elevado consumo de café no Brasil e no mundo. Segundo a Organização Internacional do Café, o consumo global da bebida permanece elevado e tem apresentado uma tendência de crescimento nos últimos anos: passou de 171,2 milhões de sacas de 60 kg em 2018 para 177,0 milhões em 2023, representando um aumento de quase 6 milhões de sacas no período. Esses dados evidenciam a

ampla e frequente exposição da população ao café, um agente pigmentante com potencial de comprometer a longevidade estética das restaurações em resina composta (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2023).

Portanto, compreender os mecanismos envolvidos na degradação das resinas compostas, tanto por fatores microbiológicos quanto dietéticos, é essencial para o desenvolvimento de materiais restauradores mais resistentes e duráveis, além de fundamentar orientações clínicas mais eficazes sobre cuidados dietéticos e de higiene bucal.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar, *in vitro*, a rugosidade e dureza de superfície, a alteração de cor e a formação de biofilme e o impacto desses biofilmes em espécimes de resina micro-híbrida tratados com agentes umectantes, após exposição a desafios microbiológicos e pigmentantes.

### 3. JUSTIFICATIVA

Compreender os efeitos que agentes modeladores exercem sobre as propriedades físico-mecânicas e estéticas de resinas compostas, especialmente em condições que simulam o ambiente bucal, é fundamental para o avanço da odontologia restauradora contemporânea. A presença simultânea de fatores biológicos, como biofilmes formados por *Streptococcus mutans* e *Candida albicans*, e fatores dietéticos, como a exposição frequente ao café, impõe desafios clínicos relevantes à durabilidade, integridade e estética das restaurações em resina composta.

Embora o uso de agentes modeladores seja amplamente adotado na prática clínica por facilitar a manipulação dos compósitos, ainda há lacunas na literatura quanto à sua influência sobre a degradação e estabilidade dos materiais restauradores sob essas condições desafiadoras. Um aspecto particularmente relevante neste contexto é o uso empírico de adesivos universais como agentes umectantes, prática observada na rotina clínica, apesar de não haver indicação formal do fabricante para tal finalidade. Essa conduta, potencialmente comprometidora das propriedades do compósito, carece de avaliação científica sistemática.

Diante disso, o presente estudo se justifica pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a interação entre diferentes agentes umectantes incluindo um adesivo universal, e resinas compostas sob desafios microbiológicos e pigmentantes que simulam a realidade da cavidade bucal. Os resultados obtidos poderão fornecer subsídios valiosos para a prática clínica, contribuindo para decisões mais seguras quanto à escolha e ao uso adequado desses materiais, com vistas à obtenção de restaurações mais duráveis, funcionais e esteticamente estáveis.

#### 4. HIPÓTESES

Considerando o contexto clínico simulado neste estudo, a hipótese é de que a exposição de espécimes de resina micro-híbrida a biofilmes duas espécies de *Streptococcus mutans* e *Candida albicans*, reconhecidos por sua capacidade acidogênica e acidúrica, resulta em alterações significativas na rugosidade de superfície, na microdureza e na estabilidade de cor do material restaurador. Adicionalmente, presume-se que tais alterações possam ser potencializadas ou moduladas pela aplicação prévia de diferentes agentes umectantes na superfície da resina composta, com destaque para dois materiais comumente utilizados na prática clínica: uma resina modeladora, indicada para essa finalidade, e um adesivo universal, cuja aplicação como agente umectante, embora frequente na rotina odontológica, não é recomendada pelos fabricantes e carece de validação científica. Essa hipótese fundamenta-se na suposição de que a composição química e a interação desses agentes com a matriz orgânica da resina podem influenciar negativamente suas propriedades físico-mecânicas e ópticas, especialmente quando associadas a condições desafiadoras do ambiente bucal, como a presença de biofilme acidogênico e pigmentação por substâncias cromogênicas como o café.

## 5. OBJETIVO GERAL/OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### 5.1. Objetivo Geral

Avaliar, *in vitro*, os efeitos da aplicação de dois agentes umectantes, resina modeling e adesivo universal, sobre a rugosidade de superfície, a alteração de cor, a dureza e a formação de biofilme em resina composta micro-híbrida, antes e após exposição a biofilme duoespécie (*Candida albicans* e *Streptococcus mutans*) e à pigmentação extrínseca por café.

### 5.2 Objetivos Específicos

5.2.1. Analisar o efeito dos agentes umectantes e do polimento na rugosidade de superfície da resina composta micro-híbrida.

5.2.2. Quantificar a formação do biofilme duoespécie (*Streptococcus mutans* e *Candida albicans*) sobre as diferentes superfícies tratadas.

5.2.3. Avaliar a alteração da microdureza *Knoop* da resina composta após os desafios propostos.

5.2.4. Determinar a estabilidade de cor ( $\Delta E_{00}$ ) da resina composta frente aos desafios microbiológico e pigmentante.



## 6. METODOLOGIA

### 6.1 Delineamento Experimental

O presente estudo *in vitro* foi conduzido segundo um delineamento experimental totalmente aleatorizado, com estrutura multifatorial. Os fatores em estudo foram:

- a) **Agente umectante** (3 níveis): ausência (controle), resina modeling e adesivo universal;
- b) **Polimento** (2 níveis): presença e ausência;
- c) **Tempo de formação de biofilme** (2 níveis): 3 dias ou 7 dias;
- d) **Exposição ao café**: aplicada somente aos espécimes que foram submetidos previamente à formação de biofilme.

Foram confeccionados 12 corpos de prova para cada combinação de agente umectante e condição de polimento (totalizando 6 grupos experimentais). Em cada grupo, 6 espécimes foram submetidos à formação de biofilme por 3 dias e outros 6 por 7 dias, utilizando biofilme duoespécie de *Streptococcus mutans* (ATCC UA159) e *Candida albicans* (ATCC 40119). As variáveis dependentes, dureza de superfície, rugosidade e cor, foram medidas em três momentos distintos:

- a) **T0**: antes da exposição ao biofilme (baseline);
- b) **T2**: após 3 ou 7 dias de formação de biofilme;
- c) **T4**: após 7 dias de imersão em solução de café, que ocorreu somente após a formação do biofilme.

Adicionalmente, os dados microbiológicos foram obtidos por meio da contagem de unidades formadoras de colônia (UFC) e da mensuração de peso seco do biofilme:

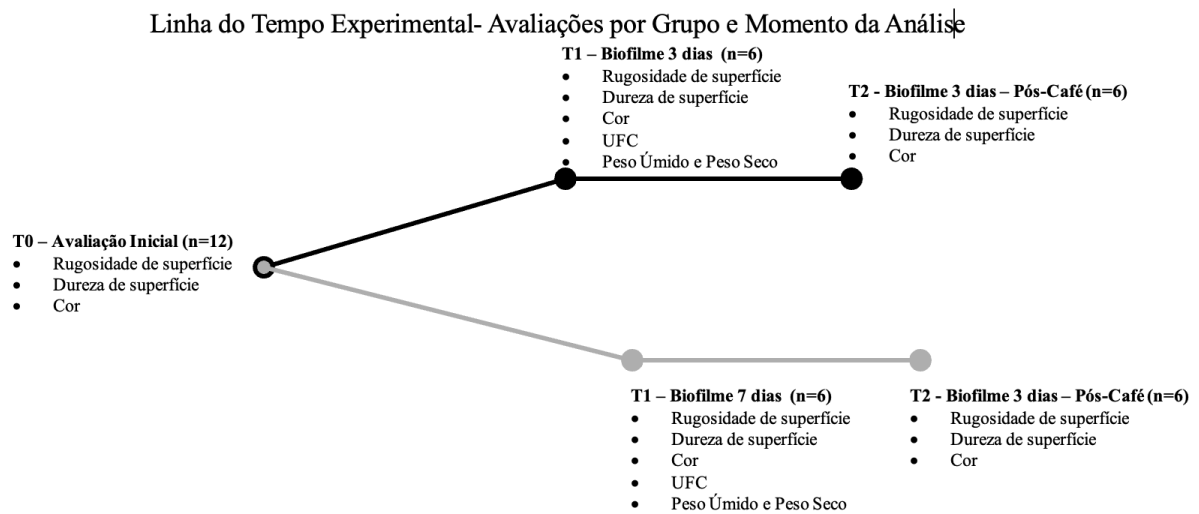
- a) Após 3 dias, para os espécimes com formação de biofilme por 3 dias;
- b) No sétimo dia, para os espécimes com formação de biofilme por 7 dias.

O experimento microbiológico foi realizado em triplicata a partir da ativação dos microrganismos, e os espécimes foram produzidos em duplicata técnica (2 amostras para cada grupo).

A figura 2 apresenta a linha do tempo experimental, destacando os momentos de coleta e análise de cada variável. No tempo T0, foram avaliadas as propriedades iniciais dos corpos de prova (n=12), incluindo rugosidade de superfície, dureza e cor. Em seguida, os espécimes foram divididos em dois grupos experimentais: formação de biofilme duoespécie (*Streptococcus mutans* e *Candida albicans*) por 3 dias (linha preta) ou por 7 dias (linha cinza). No tempo T1, após o período de biofilme, foram realizadas novas análises de rugosidade,

dureza, cor, contagem de unidades formadoras de colônia (UFC) e determinação do peso seco e úmido do biofilme (n=6 por grupo). Posteriormente, os espécimes foram imersos em solução de café por 7 dias. No tempo T2, foi realizada a avaliação final das propriedades de superfície (rugosidade, dureza e cor) para ambos os grupos (n=6 cada), a fim de verificar o impacto cumulativo da exposição microbiológica e pigmentante.

Figura 2. Representação esquemática do delineamento temporal do estudo *in vitro*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 1 – Definição dos grupos experimentais. Grupo CP+ (Grupo Controle Com Polimento); Grupo AP+ (Grupo Adesivo Com Polimento); Grupo MP+ (Grupo Modeling Com Polimento); Grupo CP- (Grupo Controle Sem Polimento); Grupo AP- (Grupo Adesivo Sem Polimento); Grupo MP- (Grupo Modeling Sem Polimento). Cada grupo continha duas amostras (duplicata técnica) e foi exposto a um biofilme de 3 (3d) e 7 dias (7d).

Grupo	Composição	Polimento	Biofilme
Grupo CP+	Resina Z100	Presente	3 dias
			7 dias
Grupo AP+	Resina Z100 + Adesivo Universal Ambar FGM	Presente	3 dias
			7 dias
Grupo MP+	Resina Z100 + Resina Modeladora BISCO	Presente	3 dias
			7 dias
Grupo CP-	Resina Z100	Ausente	3 dias
			7 dias
Grupo AP-	Resina Z100 + Adesivo Universal Ambar FGM	Ausente	3 dias
			7 dias

Grupo MP-	Resina Z100 + Resina Modeladora BISCO	Ausente	3 dias
			7 dias

## 6.2 Preparo dos Espécimes de Resina

Todos os corpos de prova foram confeccionados utilizando moldes circulares de silicone com 5 mm de diâmetro e 2 mm de altura, totalizando 72 espécimes distribuídos entre os grupos experimentais. Um compósito resinoso micro-híbrido (Z100, 3M ESPE, Minnesota, EUA) foi empregado como material base em todas as amostras. Após inserção do compósito nos moldes, a superfície superior foi recoberta com fita de poliéster e uma lâmina de vidro, sob pressão leve e uniforme, para promover a padronização da superfície.

A fotopolimerização foi realizada conforme as instruções do fabricante, utilizando uma unidade de luz LED (Valo, Ultradent Products, Inc., South Jordan, Utah, EUA) por 40 segundos na face superior do corpo de prova. Todos os espécimes foram preparados no Laboratório de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará, sob temperatura controlada ( $25 \pm 2$  °C) e armazenados ao abrigo da luz, em ambiente seco, à temperatura ambiente, por 24 horas antes da realização das análises iniciais.

Com o objetivo de modelar a superfície da resina composta, foram utilizados dois agentes umectantes: uma resina microparticulada modeladora (Modeling Resin™, BISCO Inc., Schaumburg, IL, EUA) e um adesivo universal (Ambar Universal APS, FGM, Joinville, SC, Brasil). Os agentes foram aplicados sobre a superfície do compósito por meio de um pincel levemente umedecido com a substância correspondente.

Os espécimes dos grupos destinados à condição com polimento (CP+, MP+, AP+) foram submetidos a um polimento final. Este procedimento foi realizado utilizando um disco de feltro (TDV, Pomerode, SC, Brasil) acoplado a um contra-ângulo de baixa rotação (Dentsply Sirona, York, PA, EUA). Uma pequena porção de pasta de polimento diamantada de granulação extrafina (Diamond Excel, FGM, Joinville, SC, Brasil) foi aplicada sobre a superfície do espécime. O polimento foi executado por um único operador durante 10 segundos para cada amostra, com movimentos circulares e contínuos, sob pressão leve e intermitente para evitar o superaquecimento da resina. Após o polimento, cada espécime foi abundantemente lavado em água destilada por 10 segundos para a remoção completa dos resíduos da pasta. Para garantir a padronização do processo, um novo disco de feltro foi utilizado para cada corpo de prova. A outra metade dos grupos experimentais (CP-, MP-, AP-) não foi submetida a polimento.

### 6.3 Rugosidade

A rugosidade de superfície das amostras de resina composta foi avaliada utilizando um perfilômetro de contato (Hommel Tester T1000; Hommelwerke GmbH, Schwenningen, Alemanha), conforme a norma ISO 4287. A rugosidade média (Ra) foi expressa como a média aritmética dos valores absolutos das irregularidades da superfície ao longo do traçado. Para cada amostra, foram realizados três traçados (De Passos *et al.*, 2016; Perez *et al.*, 2011) paralelos de 1,5 mm de comprimento, com espaçamento de 100 µm entre eles. As medições foram realizadas em três momentos: antes da formação de biofilme (Ra\_T0), após a exposição ao biofilme (Ra\_T1) e após o desafio pigmentante com café (Ra\_T2).

### 6.4 Teste de Dureza (*Knoop*)

A dureza da superfície das amostras foi avaliada utilizando um microdurômetro Knoop (FM-800, Future-Tech Corp., Tóquio, Japão). As medições foram realizadas no centro de cada corpo de prova, com aplicação de carga de 25 g por 10 segundos (Santos *et al.*, 2014). Para cada amostra, foram realizadas cinco leituras, cujos valores médios foram considerados para análise. As medições de dureza foram realizadas nos mesmos tempos experimentais utilizados para a avaliação da rugosidade: T0: antes da exposição ao biofilme (dureza inicial), T1: após a exposição ao biofilme duoespécie (*Streptococcus mutans* e *Candida albicans*), e T2: após a imersão em solução de café por 7 dias. Após os desafios experimentais, as amostras foram lavadas com água destilada e secas com papel absorvente antes da realização das novas leituras de dureza, sempre utilizando a mesma carga e tempo de aplicação.

### 6.5 Avaliação de Cor e Manchamento

A cor de todas as amostras foi inicialmente avaliada com o auxílio de um espectrofotômetro digital (VITA Easyshade, Wilcos do Brasil Indústria e Comércio, Petrópolis, RJ, Brasil). Após a exposição ao biofilme duoespécie por 3 ou 7 dias, as amostras foram lavadas com água destilada, secas com papel absorvente e submetidas a uma nova leitura de cor.

Para o desafio pigmentante, a solução de café foi preparada utilizando a proporção de dissolução de 5 g de café solúvel (Nescafé Clássico, Nestlé, Brasil) em 50 mL de água

fervente, conforme descrito por De Arruda *et al.* (2021) e Rahmawati *et al.* (2023). Os espécimes foram então completamente imersos e mantidos na mesma solução, sem troca ou agitação, por um período contínuo de 7 dias em um recipiente vedado para minimizar a evaporação. A temperatura não foi controlada durante este período, permanecendo em temperatura ambiente. Este protocolo foi desenhado com o objetivo específico de avaliar o potencial de pigmentação da solução, isolando o efeito da cor dos agentes corantes.

Considerando que a aplicação dos diferentes agentes umectantes (resina modeladora e adesivo universal) poderia influenciar e modificar a cor inicial dos espécimes, uma comparação direta dos valores de cor absolutos entre os grupos seria metodologicamente inadequada. Dessa forma, o parâmetro de avaliação selecionado foi a estabilidade de cor, medida pela variação cromática ( $\Delta E_{00}$ ). Este método permite quantificar o impacto dos desafios de biofilme e pigmentação em cada grupo experimental de forma independente, neutralizando as diferenças de cor intrínsecas a cada condição.

A variação de cor foi calculada com base no sistema CIEDE2000 (Luo *et al.*, 2001), gerando os seguintes valores de  $\Delta E_{00}$ :

- a)  $\Delta E_{001}$ : diferença entre o tempo inicial e pós-biofilme;
- b)  $\Delta E_{002}$ : diferença entre o tempo inicial e pós-café;
- c)  $\Delta E_{003}$ : diferença entre os tempos pós-biofilme e pós-café.

Figura 3 – Distribuição dos grupos experimentais com etapa de polimento. Cada grupo foi composto de 2 amostras (duplicata técnica). Assim, os grupos foram definidos em: CP+ (Grupo Controle Com Polimento); AP+ (Grupo Adesivo Com Polimento); MP+ (Grupo Modeling Com Polimento). Para todos os grupos foram confeccionadas 4 amostras, sendo duas amostras confeccionadas para serem submetidas ao biofilme de 3 dias e duas amostras para o biofilme de 7 dias.

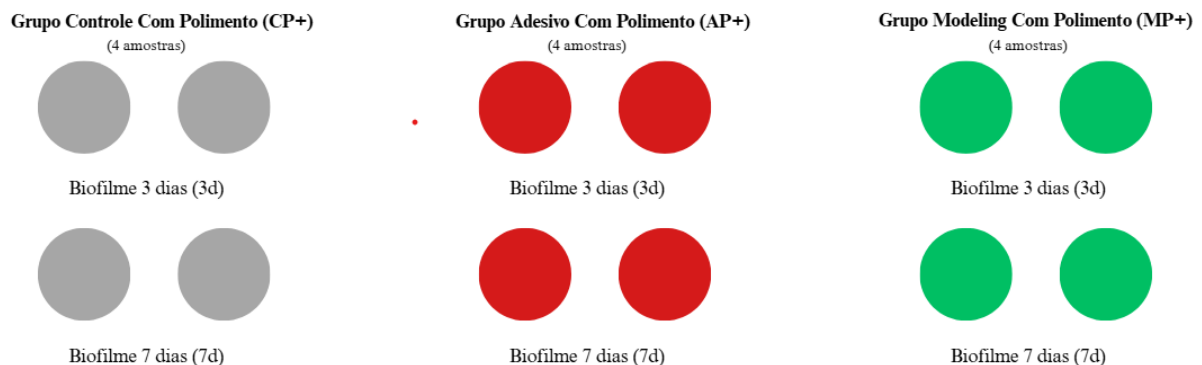
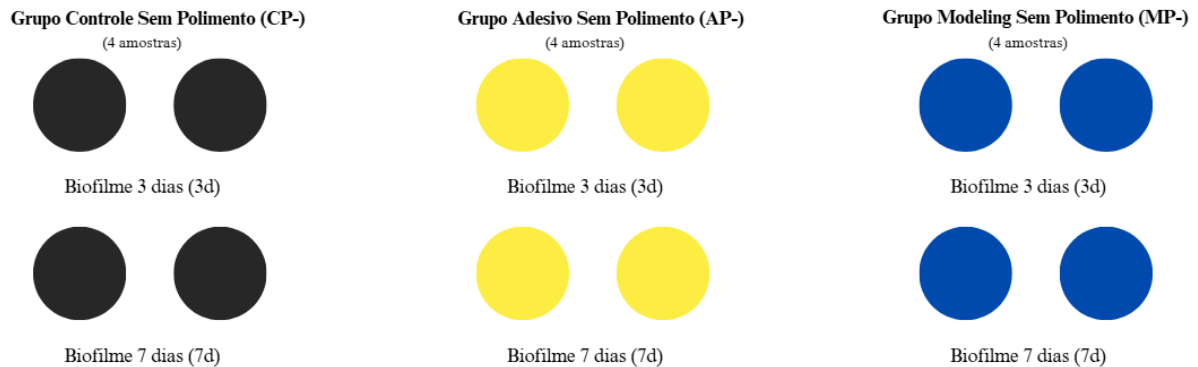


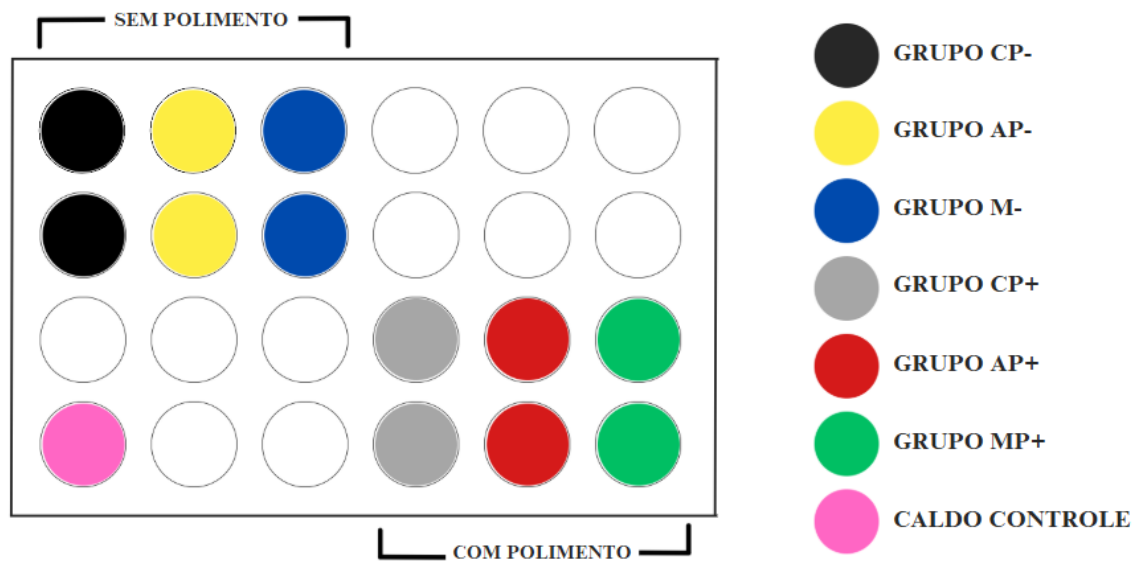
Figura 4 – Distribuição dos grupos experimentais com etapa de polimento. Cada grupo foi composto de 2 amostras (duplicata técnica). Assim, os grupos foram definidos em: CP- (Grupo Controle Sem Polimento); AP- (Grupo

Adesivo Sem Polimento); MP- (Grupo Modeling Sem Polimento). Para todos os grupos foram confeccionadas 4 amostras, sendo duas amostras confeccionadas para serem submetidas ao biofilme de 3 dias e duas amostras para o biofilme de 7 dias.



No modelo de formação de biofilme, os corpos de prova circulares foram imersos em 2 mL de meio de cultura, alocados individualmente em placas de 24 poços, comumente utilizadas para ensaios microbiológicos. Cada placa comportou 12 espécimes: 6 com polimento (2 amostras do grupo Controle, 2 do grupo Adesivo e 2 do grupo Modeling) e 6 sem polimento (2 amostras de cada grupo, respectivamente). Os grupos submetidos à formação de biofilme por 3 dias foram mantidos em placas distintas daqueles destinados à exposição por 7 dias. Para evitar a deposição passiva de microrganismos e assegurar que a adesão do biofilme ocorresse de forma ativa sobre a superfície dos corpos de prova, todas as amostras foram posicionadas na vertical durante a incubação. Essa orientação foi mantida por meio de suportes confeccionados com fio ortodôntico, garantindo a estabilidade das amostras ao longo do experimento.

Figura 5 – Distribuição esquemática das amostras na placa de 24 poços. Na parte superior, as amostras sem polimento e na parte inferior, as amostras com polimento. No canto inferior esquerdo, um poço foi utilizado para avaliação de contaminação do caldo de *BHI* ao longo dos dias em que a troca de caldo foi realizada.



## 6.6 Ativação das Cepas de Leveduras

As cepas foram removidas do estoque  $-80^{\circ}\text{C}$  e ativadas em 10 mL de meio de cultura líquido (BHI) *Brain Heart Infusion* (KASVI, Pinhais, PR, BRA), sendo então cultivadas em condições de microaerofilia em estufa com 5% de  $\text{CO}_2$  a  $37^{\circ}\text{C}$  por 18 horas (Thermo Fisher® Scientific Inc., Waltham, MA, USA) e semeadas posteriormente em meio ágar *Sabouraud* para estoque (González-Serrano *et al.*, 2018).

## 6.7 Ativação das Cepas Bacterianas

As cepas foram removidas do estoque  $-80^{\circ}\text{C}$  e reativadas em 9 mL de meio de cultura líquido *Brain Heart Infusion* (KASVI, Pinhais, PR, BRA), suplementado com Glicose a 1%, sendo cultivadas em condições de microaerofilia em estufa com 5% de  $\text{CO}_2$  a  $37^{\circ}\text{C}$  por 18 horas (Thermo Fisher® Scientific Inc., Waltham, MA, USA) e semeadas posteriormente em meio ágar MSA (*Mitis Salivarius Agar*) para estoque (Lima *et al.*, 2020).

## 6.8 Preparo do Inóculo e Modelo de formação do Biofilme

O inóculo de *Streptococcus mutans* (ATCC UA159) e *Candida albicans* (ATCC 40119) foi preparado em meio *Brain Heart Infusion* (BHI, KASVI, Pinhais, PR, Brasil)

suplementado com 1% de sacarose. As suspensões foram incubadas por 18 horas a 37 °C em atmosfera de 5% de CO<sub>2</sub> (Thermo Fisher Scientific Inc, Waltham, MA, EUA). Após o cultivo, os microrganismos foram ajustados em espectrofotômetro Beckman Coulter DU-730 (Beckman Coulter, Brea, CA, EUA) para obter concentrações de  $2 \times 10^8$  UFC/mL para *S. mutans* e  $2 \times 10^6$  UFC/mL para *C. albicans* (Falsetta *et al.*, 2021). A solução final foi composta por 130 µL de *S. mutans*, 65 µL de *C. albicans*, 9 mL de BHI e 1 mL de sacarose a 10%. Em cada poço de uma placa de 24 poços, foram distribuídos 2 mL da mistura. Os espécimes foram posicionados verticalmente, com o auxílio de um suporte metálico feito sob medida, nos poços contendo o meio inoculado. As placas foram incubadas por 24 horas a 37 °C em 5% de CO<sub>2</sub> para indução da formação de biofilme. Durante os períodos experimentais de três e sete dias, o meio contaminado foi trocado diariamente por 2 mL de BHI estéril.

## 6.9 Coleta do Biofilme

A coleta do biofilme ocorreu em dois momentos distintos: ao final de 3 dias e ao final de 7 dias. Primeiramente, ao final de 3 dias de crescimento, os biofilmes formados sobre os blocos de resina foram coletados com uma lâmina de bisturi estéril (uma para cada disco), e transferidos para tubos de micro-centrífuga pré-pesados, para a contabilização do peso úmido. Em seguida, 1mL de solução salina (NaCl 0,89%) foi adicionado ao tubo de micro-centrífuga e a suspensão foi diluída em série (1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000, 1:100000, 1:1.000.000 e 1:10.000.000) conforme Kim *et al.* (2020). Três gotas (30uL) de cada diluição foram semeadas em placas de ágar *Mitis Salivarius* (MSA) e *Sabouraud* para crescimento de *S. mutans* e *C. albicans*, respectivamente. As placas foram incubadas em estufa de CO<sub>2</sub> por 48 horas para posterior contagem das unidades formadoras de colônias. Ao final de 7 dias, esse processo foi repetido nas demais amostras.

## 6.10 Peso Úmido do Biofilme

Para determinação do peso úmido do biofilme, todo conteúdo de biofilme localizado no topo da amostra foi removido com um bisturi estéril e adicionado a um tubo de micro-centrífuga pré-pesado (Siala *et al.*, 2022). O conteúdo então foi novamente pesado, e o peso úmido foi determinado pela diferença entre o peso final e o peso inicial do tubo de micro-centrífuga vazio).



### 6.11 Peso Seco do Biofilme

Para determinar o peso seco do biofilme, três volumes de álcool etílico absoluto PA frio (-20°C) foram adicionados a 200 µL da suspensão do biofilme previamente coletado. Em seguida, as suspensões foram vortexadas e centrifugadas (10000 g durante 10 minutos a 4°C), o sobrenadante foi descartado e 600 µL de álcool a 70% foi adicionado (Falsetta *et al*, 2015). A nova suspensão foi homogeneizada em vortex e colocada em centrífuga por 5 minutos em 4°C, em seguida o sobrenadante foi descartado. Sequencialmente, os tubos de micro-centrífuga contendo os precipitados foram armazenados em uma dissecadora por um período de 7 a 12 dias, e em seguida, pesados em balança com precisão de cinco casas decimais (modelo: Auw220D; Shimadzu, Tóquio/Japão).

### 6.12 Análise Estatística

Os dados foram analisados no software GraphPad Prism, versão 9.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, EUA). Inicialmente, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk e Levene para avaliação da normalidade e homogeneidade de variâncias, respectivamente. As variáveis de microdureza e rugosidade de superfície foram submetidas à análise de variância (ANOVA) de dois fatores com medidas repetidas, considerando os fatores: grupo, polimento e tempo. Quando apropriado, foi aplicado o teste post hoc de Tukey. A variação de cor ( $\Delta E_{00}$ ) foi analisada por ANOVA de dois fatores, sendo a normalidade validada por teste de Shapiro-Wilk. As variáveis microbiológicas (peso úmido, peso seco e unidades formadoras de colônia – UFC) foram analisadas por ANOVA de três fatores (grupo  $\times$  polimento  $\times$  tempo). O nível de significância adotado para todas as análises foi de 5% ( $p < 0,05$ ).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Unidades Formadoras de Colônia, Peso Úmido e Peso Seco

A formação de biofilme medida por peso úmido foi maior após 7 dias ( $p = 0,028$ ), (independentemente do grupo analisado) indicando maior crescimento microbiano com o tempo. O peso seco e UFC/mg em meio MSA (para cultivo de *S. mutans*) não mostrou diferença estatística entre grupos, nem entre os fatores analisados isoladamente. No meio *Sabouraud* (para cultivo de *C. albicans*) apenas o grupo controle com polimento (CP+) apresentou diferença estatística ( $p=0,032$ ) no crescimento da levedura quando comparados o dia 3 e o dia 7. Não houve diferença estatística ao comparar os grupos com polimento (P+) e sem polimento (P-).

TABELA 1 – Média ( $\pm$  desvio padrão) dos dados de peso úmido ( $\text{mg} \cdot 10^{-2}$ ), peso seco ( $\text{mg} \cdot 10^{-2}$ ) e unidades formadoras de colônia (Log10 UFC) para *S. mutans* e *C. albicans* nos diferentes grupos e tempos.

O asterisco (\*) indica diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os períodos de 3 e 7 dias dentro do mesmo grupo.

GRUPOS	AVALIAÇÃO	PESO ÚMIDO ( $\text{mg} \cdot 10^{-3}$ )	PESO SECO ( $\text{mg} \cdot 10^{-3}$ )	Log10 <i>S. mutans</i>	Log10 <i>C. albicans</i>
CP-	3D	0,78 (1,05)	5,08 (0,89)	3,96	3,32
	7D	2,90 (3,42)	5,42 (2,16)	4,57	5,13
CP+	3D	0,33 (0,46)	5,05 (1,27)	2,83	2,65*
	7D	8,27 (7,77)	3,85 (1,99)	5,46	6,19*
AP-	3D	0,98 (1,41)	6,13 (2,45)	4,48	4,70
	7D	5,07 (6,24)	5,18 (0,75)	4,67	6,17
AP+	3D	1,35 (1,85)	5,05 (0,40)	4,49	4,03
	7D	3,02 (2,86)	5,53 (1,66)	4,80	5,00
MP-	3D	1,00 (1,22)	5,07 (1,23)	3,74	3,84
	7D	3,47 (4,87)	5,48 (1,23)	3,79	4,33
MP+	3D	0,38 (0,28)	5,35 (1,23)	3,46	2,92
	7D	5,73 (8,34)	6,23 (2,72)	4,55	5,08

### 7.2 Rugosidade

O valor da rugosidade (Ra) aumentou após exposição ao biofilme e café, especialmente nos grupos sem polimento. Entretanto, o único grupo que apresentou diferença

estatística ( $p=0,001$ ) ao se comparar o momento inicial e o final foi o grupo adesivo sem polimento (AP-).

TABELA 2 – Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) da rugosidade de superfície (Ra em  $\mu\text{m}$ ) para os diferentes grupos nos momentos inicial, pós-biofilme e pós-café.

*Letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam ausência de diferença estatística entre os grupos ( $p > 0,05$ ).*

*Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam ausência de diferença estatística entre os momentos de avaliação ( $p > 0,05$ ).*

GRUPOS	RUGOSIDADE		
	INICIAL	PÓS-BIOFILME	PÓS-CAFÉ
CP-	0,182 (0,171) <sup>A,a</sup>	0,234 (0,234) <sup>A,a</sup>	0,176 (0,157) <sup>A,a</sup>
CP+	0,095 (0,045) <sup>A,a</sup>	0,162 (0,228) <sup>A,a</sup>	0,129 (0,136) <sup>A,a</sup>
AP-	0,087 (0,031) <sup>A,a</sup>	0,291 (0,371) <sup>A,ab</sup>	0,470 (0,464) <sup>A,b</sup>
AP+	0,054 (0,014) <sup>A,a</sup>	0,300 (0,318) <sup>A,a</sup>	0,254 (0,290) <sup>A,a</sup>
MP-	0,118 (0,098) <sup>A,a</sup>	0,422 (0,459) <sup>A,a</sup>	0,327 (0,249) <sup>A,a</sup>
MP+	0,057 (0,027) <sup>A,a</sup>	0,175 (0,067) <sup>A,a</sup>	0,124 (0,038) <sup>A,a</sup>

### 7.3 Cor

Todos os grupos apresentaram um valor de  $\Delta E$  maior do que o valor clinicamente aceitável ( $\Delta E > 3,3$ ), indicando que houve alterações de cor facilmente observáveis em todos os grupos, mas sem diferença estatística significativa entre eles.

TABELA 3 – Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) da alteração de cor ( $\Delta E_{00}$ ) para os diferentes grupos e períodos de comparação.

*$\Delta E_{001}$ : inicial vs. pós-biofilme;  $\Delta E_{002}$ : inicial vs. pós-café;  $\Delta E_{003}$ : pós-biofilme vs. pós-café. Letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam ausência de diferença estatística entre os grupos ( $p > 0,05$ ).*

GRUPOS	ALTERAÇÃO DE COR		
	$\Delta E_{001}$	$\Delta E_{002}$	$\Delta E_{003}$
CP-	7,25 (5,42) <sup>A</sup>	6,03 (4,67) <sup>A</sup>	11,2 (17,7) <sup>A</sup>

CP+	5,67 (4,91) <sup>A</sup>	7,54 (6,46) <sup>A</sup>	6,61 (5,09) <sup>A</sup>
AP-	6,49 (4,04) <sup>A</sup>	8,48 (3,45) <sup>A</sup>	7,87 (4,46) <sup>A</sup>
AP+	6,41 (4,60) <sup>A</sup>	7,57 (4,19) <sup>A</sup>	9,94 (4,52) <sup>A</sup>
MP-	8,01 (3,98) <sup>A</sup>	8,50 (5,03) <sup>A</sup>	7,91 (4,65) <sup>A</sup>
MP+	6,97 (4,68) <sup>A</sup>	7,96 (6,37) <sup>A</sup>	7,77 (5,58) <sup>A</sup>

#### 7.4 Microdureza

Os resultados obtidos para microdureza indicam que a aplicação dos agentes umectantes influenciou os valores médios de dureza de superfície ao longo dos diferentes períodos avaliados. Nos grupos Controle (sem aplicação de umectante), observou-se uma redução significativa da microdureza após os desafios microbiológico e pigmentante. Por outro lado, nos grupos em que foram utilizados adesivo universal ou resina modeling como agentes umectantes, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os momentos de avaliação. No grupo Adesivo, os valores de dureza mantiveram-se estáveis em todos os tempos avaliados, independentemente da realização de polimento. No grupo Modeling, observou-se um aumento discreto na dureza após os desafios.

TABELA 4 – Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) da microdureza Knoop (KHN) para os diferentes grupos nos momentos inicial, pós-biofilme e pós-café.

*Letras minúsculas iguais na mesma linha indicam ausência de diferença estatística entre os momentos de avaliação ( $p > 0,05$ ).*

GRUPOS	MICRODUREZA (KHN)		
	INICIAL	PÓS-BIOFILME	PÓS-CAFÉ
CP-	72,9 (17,3) <sup>a</sup>	51,8 (15,6) <sup>b</sup>	46,0 (20,4) <sup>b</sup>
CP+	78,6 (26,6) <sup>a</sup>	64,1 (9,86) <sup>ab</sup>	61,8 (12,1) <sup>b</sup>
AP-	9,88 (2,59) <sup>a</sup>	9,08 (2,98) <sup>a</sup>	9,47 (3,39) <sup>a</sup>
AP+	9,30 (3,15) <sup>a</sup>	10,8 (1,79) <sup>a</sup>	9,45 (4,29) <sup>a</sup>

MP-	2,02 (0,44) <sup>a</sup>	8,21 (4,25) <sup>a</sup>	5,57 (2,96) <sup>a</sup>
MP+	1,93 (0,41) <sup>a</sup>	8,27 (3,35) <sup>a</sup>	8,16 (4,78) <sup>a</sup>

## 8. DISCUSSÃO

No presente estudo, os espécimes foram expostos a biofilme duoespécie de *Candida albicans* e *Streptococcus mutans* por 3 e 7 dias, simulando desafios microbiológicos agudos. Como esperado, observou-se aumento significativo do peso úmido viável ao longo do tempo, com maior acúmulo no sétimo dia, em consonância com os achados de Ionescu *et al.* (2012), que relataram crescimento progressivo de *S. mutans* após 96 horas de incubação.

Apesar do aumento geral do biofilme, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos experimentais. Esse comportamento corrobora estudos que apontam que a adesão bacteriana está mais relacionada às propriedades intrínsecas dos compósitos – como composição da matriz e distribuição das cargas – do que aos procedimentos de acabamento e polimento (Cazzaniga *et al.*, 2017; Ono *et al.*, 2007). Além disso, fatores como tempo de fotopolimerização (Hao *et al.*, 2018) e o tamanho das partículas de carga (Gönülol & Yilmaz, 2012; Sengupta *et al.*, 2023) também podem influenciar na colonização microbiana.

Um achado paradoxal deste estudo foi o maior incremento na contagem de *Candida albicans* observado justamente no grupo Controle Com Polimento (CP+), que apresentava menor rugosidade superficial. Este resultado sugere que, para este microrganismo específico, a topografia da superfície não foi o fator predominante para a colonização. A literatura aponta que a adesão da *C. albicans* é fortemente influenciada pelas propriedades físico-químicas da superfície, como a energia livre de superfície e a hidrofobicidade (Ilic *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2021).

As células de *C. albicans* possuem uma natureza hidrofóbica, o que favorece sua adesão a substratos com baixa energia livre de superfície, ou seja, mais hidrofóbicos (Nika *et al.*, 2022). Sabe-se que diferentes sistemas de polimento podem alterar a composição química da camada mais externa da resina, modificando sua energia livre de superfície (Ilic *et al.*, 2019). É plausível, portanto, que o sistema de polimento utilizado neste estudo (disco de feltro e pasta diamantada) tenha resultado em uma superfície com maior caráter hidrofóbico em comparação com a superfície não polida. Essa alteração química teria criado um ambiente mais favorável para a adesão inicial e proliferação da *C. albicans*, sobrepondo-se ao efeito benéfico da lisura superficial. Este fenômeno destaca a complexidade da interação biofilme-material, onde a química da superfície pode, em certas condições, ser mais determinante para a adesão microbiana do que a própria topografia.

No presente estudo, todos os espécimes foram fotopolimerizados sob tiras de poliéster, o que resulta em superfícies altamente lisas e reduz a formação de irregularidades (Altınışık & Özyurt, 2024; Lippert *et al.*, 2024). Esse fator pode ter atenuado os efeitos do polimento convencional, justificando a ausência de diferenças significativas entre os grupos com e sem polimento. A resina micro-híbrida utilizada, com partículas médias de 0,6  $\mu\text{m}$ , associada ao uso de agentes umectantes com baixa ou nenhuma carga, também pode ter contribuído para a obtenção de superfícies inicialmente homogêneas. Apesar disso, uma exceção notável foi observada: o aumento estatisticamente significativo da rugosidade superficial ocorreu exclusivamente no grupo Adesivo Sem Polimento (AP-).

Durante a fotopolimerização, o oxigênio atmosférico interfere na reação de polimerização, resultando em uma camada superficial rica em monômeros não polimerizados e com baixo grau de conversão (Tuno *et al.*, 2021). Esta camada é mecanicamente inferior, apresentando menor dureza e maior suscetibilidade à degradação e ao desgaste quando exposta aos desafios do meio bucal (de la-Fuente-Hernández *et al.*, 2023). Nos grupos em que o polimento foi realizado (como o AP+), essa camada superficial mais frágil foi eficientemente removida, expondo uma superfície de resina mais resistente e estável (Gönülol *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2021). No grupo AP-, contudo, a permanência da camada de inibição, combinada à composição hidrofílica dos adesivos universais que os torna mais propensos à sorção de água e degradação hidrolítica (da-Silva *et al.*, 2019), provavelmente acelerou a deterioração da superfície após a exposição ao biofilme e à solução de café. Este achado corrobora a importância clínica do acabamento e polimento adequados das restaurações, especialmente em técnicas onde um material resinoso com pouca ou nenhuma carga, como um adesivo, possa compor a camada mais externa.

A discussão sobre a rugosidade se torna ainda mais relevante considerando que superfícies mais ásperas favorecem a retenção de pigmentos, como os presentes no café, resultando em alterações cromáticas perceptíveis (Bagheri *et al.*, 2005; Gönülol & Yılmaz, 2012). De fato, os valores de  $\Delta E_{00}$  observados neste estudo foram superiores a 3,3 em todos os intervalos avaliados, indicando alteração de cor clinicamente inaceitável (Fontes *et al.*, 2009), independentemente do agente umectante utilizado.

A pigmentação intensa das amostras após imersão em café por 7 dias confirma o potencial deste agente como corante extrínseco. A composição do compósito utilizado, contendo monômeros hidrofílicos como Bis-GMA e TEGDMA, está associada a maior sorção hídrica e maior suscetibilidade à pigmentação (Ortengren *et al.*, 2001; Sideridou *et al.*, 2003).

Esse comportamento pode ser exacerbado pela absorção de água nos poros criados pela liberação de monômeros não reagidos, que ocorre principalmente nos primeiros dias após a fotopolimerização (Kolbeck *et al.*, 2006).

A análise da microdureza *Knoop* revelou uma discrepância notável entre os grupos controle (CP+ e CP-) e os grupos tratados com agentes umectantes (Tabela 4). Enquanto os grupos controle apresentaram valores de dureza característicos de uma resina composta micro-híbrida, os grupos com adesivo ou resina modeladora exibiram valores drasticamente inferiores. É fundamental esclarecer que essa diferença não representa um erro de medição, mas sim uma consequência direta da metodologia e da natureza dos materiais avaliados. O indentador *Knoop*, por sua característica de penetração superficial, aferiu a dureza da fina camada de agente umectante aplicada, e não da resina composta subjacente. Tais agentes, por serem materiais com pouca ou nenhuma partícula de carga inorgânica, formam um estrato superficial intrinsecamente macio. Portanto, os baixos valores de KHN confirmam a presença efetiva dessa camada na superfície dos espécimes. A estabilidade desses valores ao longo dos desafios microbiológico e pigmentante, especialmente nos grupos sem polimento, reforça a hipótese de que essa camada superficial permaneceu relativamente intacta, servindo como um parâmetro indireto da sua permanência. Esses resultados estão alinhados com Münchow *et al.* (2016), que associam a aplicação de agentes umectantes à redução de defeitos internos e maior coesão entre os incrementos de resina.

É importante destacar que os tempos de desafio microbiológico (3 e 7 dias) representam um período relativamente curto quando comparado à realidade clínica. Além disso, a fotopolimerização sob matriz de poliéster, embora útil para padronização em ambiente laboratorial, confere uma superfície excepcionalmente lisa, pouco representativa das condições clínicas, nas quais acabamentos manuais variam amplamente. Portanto, os dados relacionados ao polimento devem ser interpretados com cautela. Em contrapartida, os efeitos dos agentes umectantes podem ser considerados mais representativos, já que nenhum procedimento de acabamento foi realizado para sua remoção, simulando o uso clínico desses materiais sem desgaste posterior.

Convém salientar que o delineamento experimental foi concebido com o intuito de simular um cenário clínico adverso. Em detrimento da simulação do uso parcimonioso e incremental dos agentes umectantes, optou-se pela aplicação de uma camada contínua sobre a superfície final do compósito antes da fotopolimerização. Tal procedimento mimetiza uma prática clínica menos criteriosa, na qual um volume substancial do agente, material constituído



essencialmente por matriz resinosa, com mínima ou nenhuma presença de partículas de carga, constituiria o estrato mais externo da restauração. Este estrato superficial, por sua composição predominantemente orgânica, apresenta-se teoricamente mais suscetível à degradação hidrolítica, ao desgaste abrasivo e à pigmentação. Portanto, a submissão dos espécimes a esta condição crítica foi deliberada, com o objetivo de aferir a resiliência dos materiais sob o mais alto grau de desafio metodológico

Ademais, é imperativo reconhecer que o delineamento *in vitro* do presente estudo, apesar de permitir um controle rigoroso das variáveis, apresenta limitações inerentes que devem ser ponderadas. A principal delas consiste na ausência de substrato dentário (esmalte e dentina), o que impossibilitou a avaliação da interface restauração-dente, um componente crítico para a longevidade clínica das restaurações. Outro ponto relevante é o modelo de biofilme duoespécie (*Streptococcus mutans* e *Candida albicans*), o qual, embora relevante para a simulação da disbiose cariogênica, não reproduz a complexa diversidade da microbiota oral. Em virtude desses aspectos, os resultados obtidos devem ser interpretados com cautela, uma vez que sua extrapolação direta para o desempenho clínico é limitada.

Dessa forma, com base nas limitações apontadas, delineiam-se novas perspectivas de pesquisa para expandir o conhecimento científico sobre o tema. Recomenda-se a condução de estudos laboratoriais que empreguem substratos dentários, como dentes bovinos, a fim de analisar o comportamento dos materiais sobre o esmalte e a dentina e, fundamentalmente, a integridade da interface adesiva. São igualmente necessárias investigações com delineamento longitudinal, que avaliem as propriedades da resina sob períodos de exposição prolongados, permitindo uma análise mais fidedigna dos efeitos cumulativos da degradação. Adicionalmente, a incorporação de modelos de biofilme multiespécies, associada a protocolos de envelhecimento que incluam ciclagem térmica e mecânica, é essencial para mimetizar com maior precisão as condições clínicas. A ampliação do escopo para incluir outros tipos de compósitos resinosos, agentes umectantes e soluções pigmentantes também se mostra pertinente para gerar evidências mais robustas e aplicáveis à prática restauradora.

De modo geral, os achados deste estudo indicam que as alterações em propriedades como rugosidade, cor e microdureza decorrem de uma interação multifatorial entre composição, manipulação e exposição ao meio bucal. Embora os desafios microbiológicos e pigmentantes tenham promovido mudanças mensuráveis, a ausência de diferenças estatísticas significativas na maioria das comparações destaca a complexidade dos mecanismos envolvidos. Esses resultados ressaltam a necessidade de estudos adicionais com tempos prolongados de

exposição, uso de métodos de acabamento mais variados e simulações mais próximas da realidade clínica, a fim de elucidar de forma mais abrangente o papel dos agentes umectantes na durabilidade e desempenho estético das restaurações em resina composta.

## 9. CONCLUSÃO

Nas condições experimentais deste estudo *in vitro*, conclui-se que a aplicação da resina modeladora ou do adesivo universal como agentes umectantes, isoladamente, não influenciou de maneira estatisticamente significativa as propriedades de superfície da resina composta micro-híbrida. A estabilidade de cor e a formação de biofilme não apresentaram diferenças relevantes atribuíveis ao uso desses agentes.

Embora os agentes não tenham demonstrado impacto direto, outros fatores se mostraram determinantes. A ausência de polimento, especialmente quando associada ao uso do adesivo, foi a única condição que promoveu um aumento significativo da rugosidade de superfície após os desafios. Por outro lado, o polimento, apesar de ter preservado melhor a dureza e a rugosidade da resina, não impediu o crescimento de biofilme, sendo registrado o maior incremento de *Candida albicans* no grupo controle polido (CP+).

É importante ressaltar que os resultados observados se referem a períodos experimentais relativamente curtos de exposição (3 e 7 dias), o que limita a extrapolação dos achados para condições clínicas de longo prazo. Assim, os dados devem ser interpretados com cautela, reforçando a necessidade de estudos adicionais que considerem tempos prolongados de desafio, simulação de ciclos mecânicos e variações fisiológicas mais próximas da realidade clínica, a fim de elucidar de forma mais abrangente o impacto dos agentes modeladores sobre a longevidade e desempenho dos materiais restauradores.

## REFERÊNCIAS

- AYDIN, N.; YAZICI, A. R.; OZGUNALTAY, G. Effect of different solutions on surface roughness and color stability of resin composites. **European Oral Research**, v. 55, n. 2, p. 71–78, 2021.
- BAYRAKTAR, E. T.; ATALI, P. Y.; KORKUT, B.; KESIMLI, E. G.; TARCIN, B.; TURKMEN, C. Effect of Modeling Resins on Microhardness of Resin Composites. **European Journal of Dentistry**, v. 15, n. 3, p. 481, 2021.
- BARBOSA, A. M. C. *et al.* Biofilm Accumulation In Dental Materials And Its Repercussions On Oral Health: Critical Review Of Literature. **Rev. Fac Odontol Univ Fed Bahia**, v. 52, n. 1, 2022.
- BAGHERI, R. *et al.* Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. **Journal of Dentistry**, v. 33, n. 5, p. 389–398, 2005.
- BIÇER, Z. *et al.* Surface roughness of different types of resin composites after artificial aging procedures: An *in vitro* study. **BMC Oral Health**, v. 24, p. 876, 2024.
- BOWEN, W.H. Dental caries — Not Just Holes in Your Teeth! A Perspective. **Microbiologia. Oral Molecular**, v. 31, n. 3, p. 228–233, 2015.
- BRITO, A.C.M.; BEZERRA, I.M.; BORGES, M.H.S.; SILVA, R.O.; GOMES, F.N.; ALMEIDA, L.F.D. Adesão de biofilmes monoespécie de *Streptococcus mutans* e *Candida albicans* em diferentes superfícies de resinas compostas convencionalmente e bulk fill. **Rev Odontol UNESP**. v. 49, 2020.
- BUSSCHER, J.H.J. *et al.* Biofilm Formation on Dental Restorative and Implant Materials. **Dent Res**. v. 89, n.7, p. 657-665, 2010.
- CARLÉN, A. *et al.* Surface characteristics and *in vitro* biofilm formation on glass ionomer and composite resin. **Biomaterials**, v. 22, n. 5, p. 481–487, 2001.
- CAZZANIGA, G. *et al.* *In vitro* biofilm formation on resin-based composites after different finishing and polishing procedures. **Journal of Dentistry**. v. 67, p. 43–52, 2017.
- CRUZ, J. *et al.* Análise da rugosidade de superfície e da microdureza de seis resinas compostas. **Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial**. v. 57, n. 1, p. 38–45, 2016.
- DA-SILVA, E.; DE-SÁ, M. C.; CEBALLOS, L. Degradation of universal adhesives: A literature review. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**. v. 31, p. 136-148, 2019.
- DE LA-FUENTE-HERNÁNDEZ, J.; OROPEZA-GUZMÁN, E.; PÉREZ-MONDRAGÓN, A. A.; CUEVAS-SUÁREZ, C. E. Oxygen Inhibition in Dental Resin Composites. **Journal of Functional Biomaterials**. v. 14, p. 268, 2023.

DE MORAES, M.D.R. *et al.* Effect of green tea as a protective measure against dental erosion in coronary dentine. **Brazilian oral research**. v. 30, 2016.

DIAS, S. S. *et al.* Efeito dos líquidos modeladores na superfície da resina composta – uma revisão de literatura. **Recima21**, v. 5, n. 2, 2024.

DINIS, M. *et al.* Oral Microbiome: *Streptococcus mutans* /Caries Concordant-Discordant Children. **Frontiers in Microbiology**. v. 13, p. 782825, 2022

DINÇTÜRK, B. A.; ALP, C. K. The effect of modeling liquid on color stability and surface roughness of single-shade composites: a SEM study. **Oral Health & Dental Science**. v. 7, n. 4, p. 1–9, 2023.

DUARTE, S. *et al.* Effect of modeling resin on surface roughness and color stability of composite resin restorations. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**. v. 31, n. 1, p. 62–67, 2019.

DUTRA, D.; PEREIRA, G.; KANTORSKI, K.Z.; VALANDRO, L.F.; ZANATTA, F.B. Does Finishing and Polishing of Restorative Materials Affect Bacterial Adhesion and Biofilm Formation? A Systematic Review. **Oper Dent**. v. 43, n. 1, p. E37-E52, 2018.

ENGEL, A. S. *et al.* Biofilm formation on different dental restorative materials in the oral cavity. **BMC Oral Health**. v. 3, n. 1, p. 162, 2020.

ERGÜCÜ, Z.; TÜRKÜN, L. S.; TÜRKÜN, M. Color stability of nanocomposites polished with one-step systems. **Operative Dentistry**. v. 33, n. 4, p. 413–420, 2008.

FALSETTA, M. L. *et al.* Effect of Twice-Daily Blue Light Treatment on Matrix-Rich Biofilm Development. **PLoS ONE**. v. 10, n. 7, p. e0131941, 2015.

FALSETTA, M. L. *et al.* Interaction of *Candida albicans* with *Streptococcus mutans* in a dual-species biofilm model. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**. v. 11, p. 751, 2021.

FARIS, M. A. *et al.* Staining susceptibility of microhybrid and nanohybrid composites immersed in common beverages: An *in vitro* study. **Applied Sciences**. v. 13, n. 20, p. 11211, 2023.

FRAUENHOFFER, J. A. *et al.* The staining characteristics, transverse strength, and microhardness of esthetic restorative materials. **Journal of Dental Research**, v. 87, n. 12, p. 1234–1239, 2018.

FERRACANE, J. L. A Historical Perspective on Dental Composite Restorative Materials. **Journal of Functional Biomaterials**. v. 15, n. 7, p. 173, 2024.

FIDAN, M.; YAĞCI, Ö. Do universal adhesive systems affect color coordinates and color change of single-shade resin composites compared with a multi-shade composite? **Dental Materials Journal**. v. 42, n. 6, p. 886–893, 2023.

FONTES, S. T.; FERNÁNDEZ, M. R.; MEIRELES, S. S. Color Stability Of A Nanofill

Composite: Effect Of Different Immersion Media. **Journal of Applied Oral Science**. vol. 17, no. 5, 2009, p. 388, 2009.

FRAZÃO, P. Epidemiology of dental caries: when structure and context matter. **Anais do Simpósio - 17º Congresso da ABOPREV. Braz. oral res.** v. 26, n. 1, 2012.

GANGULY, S.; MITCHELL, A. P. Mucosal Biofilms of *Candida Albicans*. **Current Opinion in Microbiology**. v. 14, no. 4, p. 380, 2011.

GARCIA, B. A.; ACOSTA, N. C.; TOMAR, S. L.; ROESCH, L. F. W.; LEMOS, J. A.; MUGAYAR, L. R. F.; ABRANCHES, J. Association of *Candida albicans* and Cbp+ *Streptococcus mutans* with early childhood caries recurrence. **Scientific Reports**. v. 11, n. 1, p. 10802, 2021.

GHARECHAH, M.; MOOSAVI, H.; FORGHANI, M. Effect of surface roughness of nanofilled and microhybrid composites on bacterial adhesion. **Scientific Research Publishing – Materials Sciences and Applications**. v. 3, p. 522–526, 2012.

GRIGALAIUSKIENĖ, R.; SLABŠINSKIENĖ, E.; VASILIAUSKIENĖ, I. Biological approach of dental caries management. **Stomatologija**. v. 17, n. 4, p. 107-12, 2015.

GÖNÜLOL, N.; YILMAZ, F. The effects of finishing and polishing techniques on surface roughness and color stability of nanocomposites. **Journal of Dentistry**. v. 40, p. e64–e70, 2012.

GÖNÜLOL, N.; OZER, S.; TUNC, E. S. Impact of Finishing and Polishing on the Surface Roughness and Microhardness of Different Esthetic Restorative Materials. **Materials (Basel)**. v. 14, p. 4536, 2021.

GONZÁLEZ-SERRANO, M. E. *et al.* Oral administration of human polyvalent IgG by mouthwash as an immunotherapy for primary immunodeficiency patients with oral candidiasis. **Frontiers in Immunology**. v. 9, p. 2956, 2018.

HAO, Y. *et al.* Influence of Dental Prosthesis and Restorative Materials Interface on Oral Biofilms. **Int J Mol Sci**. v. 14, n. 10, p. 3157, 2018.

HEINTZ, S.D.; LOGUERCIO, A.D.; HANZEN, T.A.; REIS, A.; ROUSSON, V. Clinical efficacy of resin-based direct posterior restorations and glass-ionomer restorations - An update meta-analysis of cynical outcome parameters. **Dent. Mater.** v. 38, n. 5, p. e109 - e135, 2022.

HUFFINES, J.T.; SCOFFIELD, J.A. Disruption of *Streptococcus mutans* and *Candida albicans* synergy by a commensal streptococcus. **Sci Rep**. v. 12, n. 1, p. 19661, 2020.

HWANG, G.; LIU, Y.; KIM, D.; LI, Y.; KRYSAN, D.J.; KOO, H. *Candida albicans* mannans mediate *Streptococcus mutans* exoenzyme GtfB binding to modulate cross-kingdom biofilm development *in vivo*. **PLoS Pathog**. v. 13, n. 6, 2017.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. *Coffee market report – March 2023*. London, 2023. Disponível em: <https://www.ico.org/documents/cy2022-23/cmr-0323-e.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

ILIC, D.; STAMENKOVIC, D.; KOSTOV, G.; MILANOVIC, D.; PARAVINA, R. The effect of different polishing systems on the surface roughness, gloss, and color of a nanohybrid composite. **Vojnosanitetski Pregled**. v. 76, n. 11, p. 1168-1175, 2019.

IONESCU, A. *et al.* Influence of surface properties of resin-based composites on *in vitro* *Streptococcus mutans* biofilm development. **European Journal of Oral Sciences**. v. 120, n. 5, p. 458–465, 2012.

JUNIOR, P. C. M.; CARDOSO, R.M.; MAGALHÃES, B.G.; GUIMARÃES, R.P.; SILVA, C. H. V.; BEATRICE, L.C.S. Selecting correctly the composite resins. **Int. J. Dent**. v. 10, n. 2, p. 91-96, 2011.

KIDD, E. A. Clinical Threshold for Carious Tissue Removal. **Dental Clinics of North America**. v. 54, n. 3, p. 541-549, 2010.

KILIAN, M. *et al.* The oral microbiome – an update for oral healthcare professionals. **Br Dent J**. v. 221, p. 657–666, 2016.

KIM, D. *et al.* *Candida albicans* stimulates *Streptococcus mutans* microcolony development via cross-kingdom biofilm-derived metabolites. **Scientific Reports**. v. 7, n.1, p. 1-14, 2017.

KIM, D. *et al.* The acidogenicity of cariogenic biofilm affects the virulence of *Candida albicans* and *Streptococcus mutans* mixed-species biofilms. **The ISME Journal**. v. 14, p. 885–896, 2020.

KIM, R. J. Y. *et al.* Influence of modeling resins on physical and esthetic properties of composite restorations. **Restorative Dentistry & Endodontics**. v. 46, n. 3, p. e41, 2021.

KIRMALI, O. *et al.* Effects of modeling resins on surface properties and microhardness of different composite resins. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**. v. 33, n. 1, p. 116–122, 2021.

KORAC, S. *et al.* Color stability of dental composites after immersion in beverages and performed whitening procedures. **Acta Estômatol. Croata**. v. 56, p. 22–32, 2022.

LEMO, J.A.; PALMER, S.R.; ZENG, L.; WEN, Z.T.; KAJFASZ, J.K.; FREIRES, I.A.; ABRANCHES, J.; BRADY, L.J. The Biology of *Streptococcus mutans*. **Microbiol Spectr**. v. 7, n.1, 2019.

LIMA, J.E.O. Dental caries: a new concept. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**. v. 12, n. 6, p. 119-130, 2007.

LIMA, R. A. *et al.* Antimicrobial effect of anacardic acid-loaded zein nanoparticles loaded on *Streptococcus mutans* biofilms. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 51, n. 4, p. 1623, 2020.

LIN, N.J. Biofilm over teeth and restorations: What do we need to know? **Dent Mater**. v. 33, n. 6, p. 667-680, 2017.

LIPPERT, V. F. *et al.* *In vitro* comparison of one-step, two-step, and three-step polishing systems on the surface roughness and gloss of different resin composites. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**. v. 36, n. 5, p. 785–795, 2024.

LUO, M. R.; CUI, G.; RIGG, B. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. **Color Research & Application**. v. 26, n. 5, p. 340–350, 2001.

MACIEL, R.S.; NASCIMENTO, F. Evolution of compound resins. **Research, Society and Development**. v. 11, n. 15, 2022.

MARANHA, G.O. Revisão da literatura sobre o uso de resinas compostas em dentes anteriores. **Universidade Estadual Paulista - UNESP**. 2017.

MARSH, P.D.; ZAURA, E. Dental biofilm: ecological interactions in health and disease. **J Clin Periodontol**. v. 44, n. 18, p. S12-S22, 2017.

MEDEIROS, I. S.; MOURA, D. M.; FONSECA-GONÇALVES, A.; LIMA, E. M.; GUIMARÃES, M. C. C. Influence of Surface Roughness and Energy of Restorative Materials on *Candida albicans* Adhesion. **The Journal of Contemporary Dental Practice**. v. 22, n. 4, p. 403-409, 2021.

MEYER, F. *et al.* Caries Etiology and Preventive Measures. **European Journal of Dentistry**. v. 18, n. 3, p. 766-776, 2024.

MOHAMAD, A.K.; PETRONACCI, C.C.; JARDÓN, A.P.; BAZ, P.C.; BIEDMA, B.M.; VILLAMAYOR, M.J.G.; GARCÍA, A.G. Staining Susceptibility of Microhybrid and Nanohybrid Composites on Exposure to Different Color Solutions. **Apl. Ciência**. v. 13, p. 11211, 2023.

MOHAMMAD, A.; ALSHAMI, M. A., I., A.; MOHAMMAD, A. Color stability of nanohybrid and microhybrid composites after immersion in common coloring beverages at different times: A laboratory study. **BDJ Open**. v. 9, n. 1, p. 1-7, 2023.

MONTERUBBIANESI, R.; ORSINI, G.; TOSI, G.; CONTI, C.; LIBRANDO, V.; PROCACCINI, M.; PUTIGNANO, A. Spectroscopic and Mechanical Properties of a New Generation of Bulk Fill Composites. **Front Physiol**. v. 27, n. 7, p. 652, 2016.

MÜNCHOW, E. A.; SEDREZ-PORTO, J. A.; PIVA, E.; PEREIRA-CENCI, T., & CENCI, M. S. Use of dental adhesives as modeler liquid of resin composites. **Dental Materials**. v. 32, n. 4, p. 570-577, 2016.

MÜNCHOW, E. A. *et al.* Effect of modeling resin on the mechanical properties of a composite when used as a modeling liquid. **Brazilian Oral Research**. v. 30, n. 1, p. 1–8, 2016.

NAIR, M. *et al.* Evaluation of microleakage of micro hybrid composite resins in class V restorations using total etch and self-etch adhesive systems: An *in vitro* study. **Journal of Conservative Dentistry**. v. 24, n. 1, p. 60–64, 2021.

NEVES, M.L.R. *et al.* The influence of the quorum sensing on the formation of biofilm by



*Pseudomonas aeruginosa*. **Research, Society and Development**. v. 10, n. 2, 2021.

NIKA, E.; NIKOLAIDIS, I.; GKOUMA, A.; PETINAKI, E.; KOTSOMITROPOULOU, M. Biofilm Formation by *Candida* Species on Various Dental Materials: A Review. **Polymers**. v. 14, n. 17, p. 3676, 2022.

NING, K. *et al.* Wear behavior of a microhybrid composite vs. A nanocomposite in the treatment of severe tooth wear patients: A 5-year clinical study. **Dental Materials**. v. 37, n. 12, p. 1819-1827, 2021.

NOBILE, C.J.; JOHNSON, A.D. *Candida albicans* Biofilms and Human Disease. **Annu Rev Microbiol**. v. 69, p. 71-92, 2015.

ORTENGREN, U. *et al.* Water sorption and solubility of dental composites and identification of monomers released in an aqueous environment. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 28, n. 12, p. 1106–1115, 2001.

PAOLONE, G. *et al.* Influence of Modeling Liquids and Universal Adhesives Used as Lubricants on Color Stability and Translucency of Resin-Based Composites. **Coatings**. v. 13, n. 1, p. 143, 2023.

PASSOS, V. F.; DE SOUZA, A. M.; RODRIGUES, L. K.; BOMBONATTI, J. C.; SANTIAGO, S. L. A conservative treatment approach using direct composite resins for anterior teeth eroded by lemon sucking. **General Dentistry**. v. 61, n. 5, p. e1–e4, 2013.

PERCH, B.; KJEMS, E.; RAVN, T. Biochemical and serological properties of *Streptococcus mutans* from various human and animal sources. **Acta Pathologica Microbiologica Scandinavica Section B: Microbiology and Immunology** v. 82B, n. 3, p. 357–370, 1974.

PEREIRA, L.; PEREIRA, R.; SILVA, G.; LINS, E.; LIMA, L.; AGUIAR, B. Effect of wetting agent coverage on the surface properties of resin composite submitted to brushing and staining cycles. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**. v. 13, n. 8, p. e795, 2021.

PEREIRA, R.; DE-MENEZES, L. R.; CEBALLOS, L. Oxygen-inhibited layer of dental restorative materials: A state-of-the-art review. **Japanese Dental Science Review**. v. 57, p. 134-142, 2021.

PEREIRA, S. K.; MÜLLER, A. A.; BORATTO, A. C.; VEIGA, P. M. Evaluation of composite resin color alteration in contact with staining solutions. **Publicatio UEPG: Ciências Biológicas e da Saúde**. v. 9, n. 1, p. 13–19, 2003.

PÉREZ, M. M. *et al.* Influence of surface roughness on the color of dental-resin composites. **Journal of Biomedical Optics**. v. 16, n. 1, p. 015004, 2011.

PITTS, N.B.; TWETMAN, S.; FISHER, J.; MARSH, P.D. Understanding dental caries as a non-communicable disease. **Br Dent J**. v. 231, n. 12, p. 749-753, 2021.

PITTS, N.B.; ZERO, D.T.; MARSH, P.D. Dental caries. **Nature Reviews Disease Primers**. v. 3, n.17030, p. 17030, 2017.

QUEIROZ, A.C.S.; RIBEIRO, R.A.O.; GUIMARÃES, R.P.; NASCIMENTO, A.B.L.; TEIXEIRA, H.M. Color stability of composite resin when submitted to different light intensities and coloring solutions. **Research, Society and Development**. v. 11, n. 13, 2022.

REBELO, M. B.; OLIVEIRA, C.S; TAVARIA, F.K. Novas estratégias para prevenir a disbiose na cavidade oral. **Frente. Biosci. (Elite Ed)**. v. 15, n. 4, p. 23, 2023.

RODRIGUES, R.A.; REBELLATO, C.; BASTOS, R.A.; SANTOS, D.F.S.; FILHO, E.S.D.D. Analysis of the Knoop microhardness of four types of composite resin by HVS-1000 microhardness tester. **Odontol. Clín.-Cient. (Online)**. v. 9, n. 1, 2010.

SADEGHINEJAD, L. *et al.* Triethylene Glycol Up-Regulates Virulence-Associated Genes and Proteins in *Streptococcus mutans*. **PloS one**. v. 11, n. 11, p. e0165760, 2016.

SALEHI, B.; KREGIEL, D.; MAHADY, G.; SHARIFI-RAD, J.; MARTINS, N.; RODRIGUES, C. F. Management of *Streptococcus mutans*-*Candida* spp. Oral Biofilms' Infections: Paving the Way for Effective Clinical Interventions. **Journal of Clinical Medicine**, v. 9, n. 2, p. 517, 2020.

SANTANA, D.P.; RIBEIRO, E.L.; MENEZES, C.S.; NAVES, P.L.F. New approaches on virulence factors of *Candida albicans*. **Rev. Ciênc. Méd. Biol**. v. 12, n. 2, p. 229-233, 2013.

SANTOS, D. M. dos; MASSURANI, L.; GOIATO, M. C.; ZAVANELLI, A. C.; HADDAD, M. F.; MORENO, A.; VECHIATO-FILHO, A. J. Effect of different solutions on Knoop hardness of indirect composite resins. **Dentistry**. v. 4, n. 3, p. 208, 2014.

SCHWENDICKE, F. *et al.* When to intervene in the caries process? An expert Delphi consensus statement. **Clinical Oral Investigations**. v. 23, p. 3691–3703, 2019.

SEDREZ-PORTO, J.A.; MÜNCHEW, E.A.; CENCI, M.S.; PEREIRA-CENCI, T. Translucency and color stability of resin composite and dental adhesives as modeling liquids - A one-year evaluation. **Braz Oral Res**. v. 3, p. 31-54, 2017.

SELWITZ, R. H.; ISMAIL, A.I.; PITTS, N.B. Dental caries. **The Lancet**. v. 369, n. 9555, p. 51-59, 2007.

SHARMA, S.; MOHLER, J.; MAHAJAN, S.D.; SCHWARTZ, S.A.; BRUGGEMANN, L.; AALINKEEL, R. Microbial Biofilm: A Review on Formation, Infection, Antibiotic Resistance, Control Measures, and Innovative Treatment. **Microorganisms**. v. 11, n. 6, p. 1614, 2023.

SHAFIEI, F.; NIKFARJAM, V. Effect of Surface Treatment, Silane, and Universal Adhesives on the Repair Strength of Nanohybrid Composite. **Operative Dentistry**. v. 42, n. 4, p. 367–375, 2017.

SIALA, W.; KUCHARÍKOVÁ, S.; LAGROU, K.; *et al.* Evaluation of a simple method for biofilm biomass quantification: Wet weight measurement using pre-weighed tubes. **Microbiology Spectrum**. v. 10, n. 4, e01217-22, 2022.

SIDERIDOU, I.; TANTIS, M.; KARABELA, M. Study of water sorption, solubility and

modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. **Biomaterials**. v. 24, n. 4, p. 655–665, 2003.

SILVA, E.L.; JANUÁRIO, M.V.S.; VASCONCELOS, M.G.; VASCONCELOS, R.G. Therapeutic Approach to Carious Lesions: When and How to Treat. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**. v. 21, n. 2, p. 173-180, 2017.

SINGH, J.t *et al.* Composite resin degradation products from BisGMA monomer modulate the expression of genes associated with biofilm formation and other virulence factors in *Streptococcus mutans*. **Journal of biomedical materials research. Part A**. v. 88, n. 2, p. 551-560, 2009.

SOLIMAN, Y. A. *et al.* The ability of coffee to stain nanohybrid composite resins. **Alexandria Dental Journal**, v. 46, n. 1, p. 91–95, 2021.

Spatafora, G. *et al.* The Evolving Microbiome of Dental Caries. **Microorganisms**. v. 12, no. 1, p. 121, 2024.

SUNDARAGOPAL, N.; HOU, L.; ENCISO, R. Efficacy of non-invasive and minimally invasive techniques for the prevention/management of root caries in older adults - A literature review. **Dentistry Review**. v. 2, n. 4, 2022.

SZESZ, A.L.; PUPO, Y.M.; MARTINS, G.C.; GOMES, J.C.; GOMES, O.M.M. Influence of different drinks on the resin composites' color stability. **Odontol. Clín.-Cient. (Online)**. v. 10, n. 4, 2011.

TALAPKO, J.; JUZBAŠIĆ, M.; MATIJEVIĆ, T.; PUSTIJANAC, E.; BEKIĆ, S.; KOTRIS, I.; ŠKRLEC, I. *Candida albicans*-The Virulence Factors and Clinical Manifestations of Infection. **J Fungi (Basel)**. n. 7, n. 2, p. 79, 2021.

TAVANGAR, M. S. *et al.* Effect of beverages on color stability and surface roughness of resin composites. **Journal of Dentistry**. v. 19, n. 1, p. 1–10, 2018.

TREIN, M.P.; TOGNI, L.; ALMEIDA, V.G.; ROSING, C.K.; OPPERMANN, R.V. Biofilm formation in different oxygen concentrations. **Revista Odonto Ciência – Fac. Odonto/PUCRS**. v. 21, n. 53, jul./set. 2006.

TUNCER, S.; DEMIRCI, M.; TIRYAKI, M.; UNLÜ, N.; UYSAL, Ö. The effect of a modeling resin and thermocycling on the surface hardness, roughness, and color of different resin composites. **J Esthet Restor Dent**. v. 25, n. 6, p. 404-419. Oct, 2013.

TUNO, N.; ITO, S.; TANAKA, T.; KAWAI, T.; TSUBURA, A. The effect of oxygen inhibition on the surface properties of dental composites. **Journal of Oral Science**. v. 63, p. 258-261, 2021.

URQUHART, O. *et al.* Nonrestorative Treatments for Caries: Systematic Review and Network Meta-analysis. **Journal of Dental Research**. v. 98, n. 1, p. 14, 2018.

VINAGRE, A.; BARROS, C.; GONÇALVES, J.; MESSIAS, A.; OLIVEIRA, F.; RAMOS J. Surface Roughness Evaluation of Resin Composites after Finishing and Polishing Using 3D-

Profilometry. **International Journal of Dentistry**. v. 2023, n. 1, 2023.

XIANG, Z. *et al.* Human tooth as a fungal niche: *Candida albicans* traits in dental plaque isolates. **mBio**. v. 14, n. 1, e03336-22, 2023.

WANG, Y.; ZHU, M.; ZHU, X. Functional fillers for dental resin composites. **Acta Biomaterialia**. v. 122, p. 50-65, 2021.

WARRETH, A. Dental Caries and Its Management. **International Journal of Dentistry**. v. 2023, 2023.

WOLFF, M.S.; LARSON, C. The cariogenic dental biofilm: good, bad or just something to control? **Braz Oral Res**. v.23, n. 1, p. 31-38, 2009.

YANG, L. *et al.* Characterization of *Candida albicans* invasion in human dentin using scanning electron microscopy and confocal laser scanning microscopy. **Journal of Fungi**. v. 6, n. 3, p. 90, 2020.

YANGHENG, Z.; XIANG, W.; HOUXUAN, L.; CAN, N.; ZHIBIN, D.; FUHUA, Y. Human oral microbiota and its modulation for oral health. **Biomedicine & Pharmacotherapy**. v. 99, p. 883-893, 2018.

ZAYED S.M.; ABOULWAFI M.M.; HASHEM, A.M.; SALEH, S.E. Biofilm formation by *Streptococcus mutans* and its inhibition by green tea extracts. **AMB Express**. v. 11, n. 1, p.73, 2021.

ZHANG, L. *et al.* Effects of universal adhesives and surface treatment on surface roughness and bacterial adhesion of dental composites. **Applied Sciences**. v. 14, n. 16, p. 7289, 2024.