

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

**ANÁLISE COMPARATIVA *IN VITRO* DA
RADIOPACIDADE E DA RUGOSIDADE
SUPERFICIAL DE RESINAS COMPOSTAS BULK
FILL E MONOCROMÁTICAS APÓS ESCOVAÇÃO
SIMULADA**

Heloísa de Almeida Ferreira

SAPIENTIA AEDIFICAT

2024

HELOÍSA DE ALMEIDA FERREIRA

ANÁLISE COMPARATIVA *IN VITRO* DA RADIOPACIDADE E DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE RESINAS COMPOSTAS BULK FILL E MONOCROMÁTICAS APÓS ESCOVAÇÃO SIMULADA

***IN VITRO* COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RADIOPACITY AND SURFACE ROUGHNESS OF BULK-FILL AND MONOCHROMATIC COMPOSITE RESINS AFTER SIMULATED TOOTHBRUSHING**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto de Oliveira Sales
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Karina Maciel de Andrade

João Pessoa

2024

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F383a Ferreira, Heloísa de Almeida.

Análise comparativa *in vitro* da radiopacidade e da rugosidade superficial de resinas compostas bulk fill e monocromáticas após escovação simulada / Heloísa de Almeida Ferreira. - João Pessoa, 2024.
70 f. : il.

Orientação: Marcelo Augusto de Oliveira Sales.
Coorientação: Ana Karina Maciel de Andrade.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCS.

1. Radiografia dentária. 2. Resinas compostas. 3. Materiais dentários. 4. Rugosidade superficial. 5. Radiologia. I. Sales, Marcelo Augusto de Oliveira. II. Andrade, Ana Karina Maciel de. III. Título.

UFPB/BC

CDU 616.314-073.7(043)

Informações Complementares:

Título em outro idioma: *In vitro* Comparative Analysis of the Radiopacity and Surface Roughness of Bulk-Fill and Monochromatic Composite Resins after Simulated Toothbrushing

Palavras-chave em outro idioma: Composite Resins; Dental Radiography; Dental Materials; Surface Roughness; Radiology.

Área de concentração: Ciências Odontológicas

Linha de Pesquisa: Biomateriais em Odontologia

Banca examinadora: Prof. Dr. Marcelo Augusto de Oliveira Sales (Orientador, UFPB); Prof^a. Dr^a. Ana Karina Maciel de Andrade (Coorientadora, UFPB); Prof^a. Dr^a. Renally Bezerra Wanderley e Lima (UFPB); Prof. Dr. Marcus Vinícius Linhares de Oliveira (IFBA).

Data de defesa: 18-12-2024

Informações acadêmicas e profissionais da aluna

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7588-0151>

- Link do Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3655677197093327>

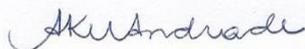
HELOÍSA DE ALMEIDA FERREIRA

ANÁLISE COMPARATIVA *IN VITRO* DA RADIOPACIDADE E DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE RESINAS COMPOSTAS BULK FILL E MONOCROMÁTICAS APÓS ESCOVAÇÃO SIMULADA

A comissão examinadora abaixo relacionada julgou a Defesa de Dissertação apresentada em sessão pública no dia 18 de dezembro de 2024 e atribuiu o conceito APROVADA.



Prof. Dr. Marcelo Augusto de Oliveira Sales
Orientador - UFPB



Prof^ª. Dr^ª. Ana Karina Maciel de Andrade
Coorientadora - UFPB



Prof^ª. Dr^ª. Renally Bezerra Wanderley e Lima
Examinador – UFPB



Prof. Dr. Marcus Vinícius Linhares de Oliveira
Examinador - IFBA

DEDICATÓRIA

*À minha família,
por compreender a necessidade da distância imposta pela dedicação aos meus estudos,
pelo apoio incondicional e pela inspiração constante
que iluminaram cada passo desta jornada.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha eterna gratidão por ser minha força, direção e amparo ao longo desta caminhada, guiando cada um dos meus passos e fortalecendo minha fé. Sem Ele, esse sonho tão desejado e esperado jamais seria possível.

Aos meus pais, Eliana e Josemias, por seu amor incondicional, por acreditarem em cada um dos meus sonhos e por estarem sempre ao meu lado com palavras de encorajamento e apoio.

Ao meu noivo, Alexandre, meu companheiro de vida, obrigada por ser uma fonte inesgotável de amor, cuidado e força. Você é meu porto seguro em todos os momentos, sejam de alegria ou de desafios.

À minha família, pela torcida constante, pelo carinho genuíno e por cada gesto que me acompanhou e impulsionou até aqui. Sou profundamente grata a todos vocês.

Ao meu orientador, Professor Marcelo Sales, por sua orientação valiosa, pela generosa disponibilidade e atenção ao longo de todo o processo, pela paciência em esclarecer dúvidas e contribuir para o aprimoramento deste trabalho. Sua experiência e dedicação foram essenciais para a concretização desta etapa.

À minha querida e amada coorientadora, Professora Ana Karina Maciel, minha eterna gratidão por todo o incentivo ao longo deste percurso. Desde a graduação até aqui, a senhora tem sido uma guia exemplar, compartilhando ensinamentos preciosos e oferecendo uma orientação que vai muito além do âmbito acadêmico. Obrigada por cuidar de mim como mais que uma aluna, mas também como alguém que se importa profundamente. Sua paciência, amor, atenção, carinho e sabedoria tornaram este caminho mais leve, seguro e cheio de aprendizado. É uma honra e um privilégio tê-la ao meu lado nesta jornada, mais uma vez.

Agradeço também às minhas amigas e colegas de profissão – Laís, Iasmin, Elizabeth, Karolyne e Danielle – pelo apoio constante e pela amizade ao longo de toda a jornada, desde a graduação e o processo seletivo até este momento tão especial.

Agradeço ainda a todos os amigos, colegas e professores que, de alguma forma, contribuíram para a realização de mais este sonho. Cada um de vocês tem um lugar especial nesta conquista.

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

EPÍGRAFE

"É justo que muito custe, o que muito vale."

Santa Teresa d'Ávila

RESUMO

Nos últimos anos, as resinas compostas bulk fill e monocromáticas têm se destacado por introduzirem inovações promissoras na prática odontológica. O estudo de suas propriedades reflete o constante esforço em aprimorar e simplificar seu manuseio clínico. Para assegurar o sucesso das restaurações e a satisfação do paciente, é fundamental que a escolha do material seja criteriosa, com especial atenção às suas propriedades, como a radiopacidade e a rugosidade superficial, essenciais para decisões clínicas embasadas dos cirurgiões-dentistas. Este estudo *in vitro* teve como objetivo avaliar a radiopacidade e a rugosidade superficial de resinas compostas bulk fill e monocromáticas em comparação a uma resina composta convencional. Foram testadas quatro resinas compostas (duas bulk fill: Filtek One Bulk Fill e Tetric N-Ceram Bulk Fill; e duas monocromáticas: Vittra APS Unique e Palfique Omnichroma), comparadas à resina convencional Filtek Z350 XT (controle). Dez corpos de prova (5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) foram confeccionados para cada resina. A rugosidade foi avaliada por Perfilômetro Óptico 3D (Talysurf CCI MP, Leicester, UK) e a radiopacidade por um aparelho de radiografia intraoral FOCUS 50540-IMG (Kavo, Potsdam, Alemanha), em três tempos de exposição (0,20s, 0,32s e 0,4s), com análise de escala de cinza das imagens digitais no software ImageJ. Após as aferições iniciais (T_0), as amostras passaram por 50.000 ciclos de escovação simulada, equivalente a 4 anos de uso clínico, e as medidas foram repetidas (T_1). A análise estatística utilizou testes descritivos e não-paramétricos, devido à distribuição não-normal dos dados, identificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Adotou-se um nível de significância de 5%, intervalo de confiança de 95% e poder estatístico de 80%, com o software SPSS 20.0. Em T_0 , foram observadas diferenças significativas entre as resinas ($p < 0,05$), com as resinas monocromáticas exibindo menor rugosidade superficial. Todas as resinas, exceto a Tetric N-Ceram Bulk Fill ($p > 0,05$), apresentaram um aumento significativo na rugosidade após a simulação de escovação ($p < 0,05$). Contudo, todos os grupos avaliados apresentaram valores de rugosidade superficial semelhantes em T_1 ($p > 0,05$). Com relação à radiopacidade, em T_0 , as resinas apresentaram maior radiopacidade no menor tempo de exposição (0,2s), com diferenças significativas entre os tempos e entre as resinas ($p < 0,001$). A Tetric N Ceram Bulk Fill destacou-se por apresentar a maior radiopacidade, enquanto a

Palfique Omnichroma exibiu os menores valores, nos três tempos de exposição avaliados. Em T₁, não foram observadas diferenças significativas, independentemente do tempo e do material ($p>0,05$). Conclui-se que, as resinas monocromáticas foram inicialmente mais lisas, porém, após escovação simulada, todas as resinas apresentaram aumento na rugosidade, exceto a Tetric N-Ceram Bulk Fill. A análise inicial revelou que a radiopacidade das resinas foi maior no tempo de exposição radiográfica de 0,2s, influenciada pelos tempos de exposição e tipo de material. Após escovação simulada, todas as resinas apresentaram rugosidade e radiopacidade semelhantes, com diferenças iniciais reduzidas pelo desgaste abrasivo.

Palavras-chave: Resinas compostas; Radiografia Dentária; Materiais Dentários; Rugosidade Superficial; Radiologia.

ABSTRACT

In recent years, bulk fill and monochromatic composite resins have gained prominence for introducing promising innovations in dental practice. The study of their properties reflects the ongoing effort to improve and simplify their clinical handling. To ensure the success of restorations and patient satisfaction, it is essential to make a judicious material selection, focusing on properties such as radiopacity and surface roughness, which are critical for evidence-based clinical decisions by dental professionals. This *in vitro* study aimed to evaluate the radiopacity and surface roughness of bulk fill and monochromatic composite resins compared to a conventional composite resin. Four composite resins were tested (two bulk fill: Filtek One Bulk Fill and Tetric N-Ceram Bulk Fill; and two monochromatic: Vittra APS Unique and Palfique Omnichroma), and these were compared to the conventional Filtek Z350 XT resin (control). Ten specimens (5 mm in diameter and 2 mm in thickness) were fabricated for each resin. Surface roughness was assessed using a 3D Optical Profilometer (Talysurf CCI MP, Leicester, UK), and radiopacity was evaluated using an intraoral radiography device, FOCUS 50540-IMG (Kavo, Potsdam, Germany), at three exposure times (0.20s, 0.32s, and 0.4s). The grayscale of the digital images was analyzed using the ImageJ software. After initial measurements (T_0), the samples underwent 50,000 cycles of simulated toothbrushing, equivalent to four years of clinical use, and the measurements were repeated (T_1). Statistical analysis involved descriptive and non-parametric tests due to the non-normal distribution of the data, as determined by the Shapiro-Wilk test. A significance level of 5%, a 95% confidence interval, and an 80% statistical power were adopted, using SPSS 20.0 software. At T_0 , significant differences were observed among the resins ($p < 0.05$), with monochromatic resins showing lower surface roughness. All resins, except Tetric N-Ceram Bulk Fill ($p > 0.05$), exhibited a significant increase in roughness after simulated brushing ($p < 0.05$). However, all groups showed similar surface roughness values at T_1 ($p > 0.05$). Regarding radiopacity, at T_0 , the resins demonstrated higher radiopacity at the shortest exposure time (0.2s), with significant differences between times and resins ($p < 0.001$). The Tetric N Ceram Bulk Fill stood out for having the highest radiopacity, while the Palfique Omnichroma exhibited the lowest values across the three exposure times evaluated. At T_1 , no significant differences were observed

regardless of time and material ($p>0.05$). It was concluded that monochromatic resins were initially smoother; however, after simulated brushing, all resins showed an increase in roughness, except for Tetric N-Ceram Bulk Fill. The initial analysis revealed that the radiopacity of the resins was higher at the 0.2s radiographic exposure time, influenced by the exposure times and type of material. After simulated brushing, all resins exhibited similar roughness and radiopacity, with initial differences diminished by abrasive wear.

Keywords: Composite Resins; Dental Radiography; Dental Materials; Surface Roughness; Radiology.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bis-GMA: Bisfenol A glicidilmetacrilato
Bis-EMA: Bisfenol A polietilenoflicol diéter dimetacrilato
UDMA: Uretano dimetacrilato
TEGDMA: trietilenoglicol dimetacrilato
PEGDMA: polietilenoglicol dimetacrilato
AUDMA: Uretano Dimetacrilato Aromático
AFM: Monômeros de Fragmentação Adicional
APS: Sistema Avançado de Polimerização
FZ: Filtek Z350 XT
OB: Filtek One Bulk Fill
TB: Tetric N-Ceram Bulk Fill
VU: Vittra APS Unique
PO: Palfique Omnicroma

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1. Histórico e Evolução das Resinas Compostas	15
2.2. Composição das Resinas Compostas	17
2.4. Resinas Bulk Fill	19
2.5. Resinas Monocromáticas	21
2.3. Propriedades das Resinas Compostas	23
2.4. Condições adversas no ambiente bucal	35
3. OBJETIVOS	37
4. ARTIGO 1	38
5. CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

As resinas compostas são os materiais odontológicos mais utilizados em restaurações dentárias diretas e indiretas devido à sua excelente combinação de propriedades mecânicas e estéticas, que se assemelham às dos tecidos dentários naturais. Introduzidas na Odontologia na década de 1960, essas resinas têm evoluído continuamente, com avanços voltados para aprimorar seu desempenho, durabilidade e facilidade de manipulação (Ferracane, 2011; Ebaya et al., 2022; Rosado et al., 2023; Ipek & Bilge, 2024). Nos últimos anos, as resinas bulk fill e monocromáticas ganharam destaque por suas propostas inovadoras, combinando praticidade, redução do tempo clínico e boas propriedades mecânicas (Ahmed et al., 2022; Osiewicz et al., 2022; Chen et al., 2024).

As resinas bulk fill são materiais restauradores que permitem a aplicação em camadas mais espessas do que as resinas convencionais (Osiewicz et al., 2022). Os incrementos destas resinas podem variar dependendo da marca e das recomendações do fabricante, geralmente, podem ser de 4 a 5 mm de espessura, o que difere das resinas convencionais, que são aplicadas em camadas mais finas (2 mm ou menos de espessura) (Carrillo-Marcos et al., 2022; Menezes et al., 2024). As resinas bulk fill surgiram como uma alternativa para otimizar o protocolo restaurador, permitindo a aplicação em camadas mais espessas, o que reduz o tempo total do procedimento em comparação às resinas convencionais (Garcia et al., 2023). Essa inovação é resultado da incorporação de fotoiniciadores avançados e outros componentes específicos, que contribuem para uma maior profundidade de cura, melhor adaptação às margens da cavidade, redução da tensão gerada pela contração de polimerização e maior estabilidade de cor ao longo do tempo (Gaviria-Martinez et al., 2022; Gatica et al., 2023).

Mais recentemente, outro tipo de resina foi introduzido no mercado: as resinas compostas monocromáticas. Caracteristicamente citadas com o termo “efeito camaleão”, elas foram desenvolvidas para imitar a cor e a opacidade dos dentes naturais em diferentes situações de iluminação e translucidez, garantindo um resultado estético superior nas restaurações dentárias (Korkut & Turkmen, 2020). Possuem uma formulação especial que facilita sua adaptação à cor dos dentes, essa tecnologia permite captar e refletir a tonalidade do substrato dentário com o uso de uma única cor de resina composta (Alharbi et al., 2024), eliminando

a necessidade de camadas adicionais para alcançar a estética desejada. Como resultado, reduzem o tempo de trabalho e otimizam recursos físicos e financeiros, dispensando a seleção de cores e a estratificação de resinas (Rohym et al., 2023).

Duas propriedades importantes a serem consideradas para a escolha do material restaurador a ser utilizado clinicamente são: rugosidade superficial e radiopacidade. A rugosidade superficial das resinas compostas pode afetar sua longevidade, pois leva à deterioração da resina, mudança de cor, perda de brilho e ao acúmulo de biofilme nos materiais restauradores (Devlukia et al., 2023; Ramírez-Vargas et al., 2023). Uma superfície mais rugosa pode aumentar o risco de cáries secundárias e doenças periodontais. Portanto, uma superfície mais lisa e menos rugosa é desejável para evitar esses problemas e manter a saúde bucal do paciente (Yu et al., 2023).

Por outro lado, a radiopacidade é uma propriedade essencial das resinas compostas, pois possibilita sua identificação em exames radiográficos, como radiografias intraorais e panorâmicas, amplamente utilizadas na rotina dos consultórios odontológicos. As imagens radiográficas podem ajudar na diferenciação entre materiais restauradores e substratos dentários, verificar a integridade inicial de restaurações, como correta avaliação da forma e contorno, e para diagnosticar quaisquer defeitos marginais ou recidiva de cárie (Babaier et al., 2022; Rosado et al., 2023). A radiopacidade depende principalmente de dois fatores: intrínsecos (composição do material, estrutura molecular, geometria e densidade) e extrínsecos (sistema de imagem radiográfico utilizado e parâmetros de exposição) (Gündoğdu & Akgül, 2023).

Embora o interesse por ambos os materiais tenha crescido significativamente, não foram identificados estudos que integrem a análise desses dois tipos de resinas inovadoras após desafio abrasivo de escovação associado à avaliação de radiopacidade, como o realizado neste trabalho. Além disso, alterações na composição das resinas podem afetar suas propriedades físicas e de superfície, com potenciais implicações para seu desempenho e longevidade clínica, que torna essencial a análise contínua de suas propriedades (Alharbi et al., 2024; Oliveira et al., 2024). As resinas bulk fill têm sido investigadas há mais tempo (Gehlot et al., 2022; Osiewicz et al., 2022; Tărăboanță et al., 2022; Babaier et al., 2022; Gündoğdu et al., 2023), enquanto as resinas monocromáticas surgiram mais recentemente como uma alternativa promissora. Apesar de estudos recentes terem

explorado a rugosidade superficial dessas resinas (Chen et al., 2024; Alex & Venkatesh, 2024; Alharbi et al., 2024), investigações específicas sobre a propriedade de radiopacidade ainda são limitadas na literatura (Agaccioglu & Yilmaz, 2024; Kopuz & Erçin, 2024).

Nesse contexto, a constante introdução de resinas bulk fill e monocromáticas por diversas marcas comerciais, aliada à importância clínica da simplificação dos protocolos restauradores, reforça a necessidade de estudos adicionais, para verificar se esses materiais oferecem os mesmos benefícios e atendem aos padrões de radiopacidade e rugosidade observados nas resinas compostas convencionais. Diante disso, o presente estudo se baseou nas seguintes hipóteses de pesquisa:

H₀: não há diferença estatisticamente significativa entre as resinas compostas bulk fill, monocromáticas e a convencional quanto à radiopacidade e à rugosidade superficial após desafio abrasivo; e, os diferentes tempos de exposição radiográfica não influenciam nos resultados obtidos para a radiopacidade das resinas.

H₁: há diferença estatisticamente significativa entre as resinas compostas bulk fill, monocromáticas e a convencional quanto à radiopacidade e rugosidade superficial após desafio abrasivo; e, os diferentes tempos de exposição radiográfica influenciam os resultados obtidos para a radiopacidade das resinas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Histórico e Evolução das Resinas Compostas

Um dos principais objetivos do desenvolvimento de novos materiais restauradores em odontologia é a busca por um material que reproduza fielmente as características naturais dos dentes, como cor, forma e textura. As resinas compostas surgiram como uma alternativa estética e funcional às restaurações metálicas, sendo introduzidas nos anos 1960 (Ferracane, 2011; Ipek & Bilge, 2024).

Diversos anos de pesquisa foram necessários para superar algumas das limitações iniciais desses materiais, como o alto coeficiente de expansão térmica, desgaste excessivo, absorção de água, descoloração e elevada contração de

polimerização. Desde seu surgimento, essas resinas passaram por diversas melhorias, sua evolução incluiu: avanços na resistência, estabilidade de cor, facilidade de manuseio e tempo de cura, tornando-se um dos materiais mais amplamente utilizados na odontologia restauradora e indispensáveis na prática clínica odontológica.

A primeira geração de resinas compostas foi desenvolvida como uma resposta às crescentes demandas por materiais que combinassem estética e função. Nesse período, as resinas eram compostas basicamente por uma matriz de polímeros e grandes partículas de carga inorgânica, como o quartzo, comumente chamadas de resinas macroparticuladas, hoje em desuso. Suas desvantagens eram apresentar alta rugosidade superficial, devido ao desgaste seletivo da matriz orgânica, deixando as partículas de carga expostas, o que causava aspereza superficial e maior suscetibilidade ao manchamento. Além disso, eram radiolúcidas, dificultando a diferenciação entre restaurações e cáries (Ferracane, 2011; Reis e Loguercio, 2021).

Nas décadas seguintes, os esforços de pesquisa se concentraram na melhoria da estética e do manuseio das resinas compostas. Resinas microparticuladas, compostas por partículas de carga menores (tamanho entre 0,04 a 0,4 μm), foram desenvolvidas, permitindo um melhor polimento e acabamento superficial mais suave. Esses materiais, porém, apresentavam propriedades mecânicas inferiores às suas antecessoras, restringindo seu uso a casos de baixo impacto mastigatório, como em elementos anteriores (Reis e Loguercio, 2021).

Nos anos 1980, a introdução das resinas híbridas, que combinavam partículas de carga de tamanhos grandes e pequenas, representou um grande avanço. Essas resinas equilibravam estética e resistência mecânica, sendo adequadas tanto para restaurações anteriores quanto para posteriores. Além disso, são resinas radiopacas e consideradas universais. Podem ser subdivididas de acordo com o tamanho de suas partículas em: macro-híbrida, híbrida, micro-híbrida e nano-híbrida, sendo estes dois últimos grupos os mais amplamente utilizados atualmente (Reis e Loguercio, 2021).

Com o avanço das tecnologias de produção de partículas, surgiram as resinas nanoparticuladas nos anos 2000. Essas resinas utilizam nanopartículas com tamanhos inferiores a 100 nm, que oferecem excelente polimento e resistência

ao desgaste, além de uma distribuição mais uniforme das partículas na matriz de polímero.

2.2. Composição das Resinas Compostas

As resinas compostas são formadas por uma matriz orgânica polimérica, partículas de carga inorgânicas e um agente de união. Cada um desses componentes desempenha um papel essencial na determinação das propriedades mecânicas, estéticas e de manuseio das resinas compostas. A composição pode variar conforme o tipo de resina, mas os princípios básicos permanecem os mesmos (Anusavice et al., 2013).

A matriz orgânica das resinas compostas é constituída por monômeros, inibidores, modificadores de cor e sistema iniciador/ativador (Reis e Loguercio, 2021) e é responsável pela fase polimérica das resinas compostas. É onde ocorre o processo de polimerização quando ativada pela luz ou por reações químicas, levando à formação de cadeias poliméricas entre os monômeros, conferindo rigidez ao material.

Os monômeros são os principais componentes da matriz, são eles que polimerizam durante a cura, proporcionando a estrutura base do material. Os monômeros mais comuns incluem: bisfenol glicidil metacrilato (bis-GMA) – o monômero mais utilizado em resinas compostas, introduzido por Bowen em 1963. Possui alta viscosidade e oferece boa resistência, mas precisa ser diluído com outros monômeros devido à sua consistência espessa; uretano dimetacrilato (UDMA) – um monômero alternativo que possui menor viscosidade que o bis-GMA e contribui para maior flexibilidade no material; trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA) e o etilenoglicol dimetacrilato (EGDMA) – frequentemente utilizados como diluentes para reduzir a viscosidade da matriz e facilitar o manuseio da resina, pois apresentam baixo peso molecular (Cramer et al., 2011).

Algumas resinas compostas são formuladas com o monômero bis-EMA, que possui uma molécula de maior massa molecular. Esse componente ajuda a reduzir a contração de polimerização e apresenta menor absorção de água quando comparado às resinas compostas predominantemente por bis-GMA.

Além dos componentes principais, as resinas compostas também contêm: modificadores de cor, que são responsáveis pela coloração e pela possibilidade de

escolha de diferentes tonalidades para se adaptar ao dente natural. Esses pigmentos são óxidos metálicos que não afetam as propriedades mecânicas do material; inibidores, que são substâncias que ajudam a melhorar a estabilidade da resina ao longo do tempo, prevenindo alterações na cor e no desempenho mecânico. Exemplos incluem antioxidantes e estabilizadores de luz ultravioleta. Os mais utilizados são o hidroxitolueno butílico (BHT) e a hidroquinona (Reis e Loguercio, 2021).

A polimerização da resina composta pode ser ativada por diferentes sistemas de iniciação, dependendo do tipo de cura. Os mais comuns incluem os fotoiniciadores, que são usados em resinas compostas fotopolimerizáveis, ativados pela luz de comprimento de onda específico (geralmente luz azul com 460 a 480 nm). O fotoiniciador mais comum é a canforoquinona, que inicia o processo de polimerização quando exposta à luz; e os iniciadores químicos, que são usados em resinas de cura química ou de dupla cura (química e luz). O sistema clássico é baseado na mistura de peróxido e uma amina terciária, que reagem quimicamente para polimerizar o material (Cramer et al, 2011).

As partículas de carga inorgânicas, também chamadas de *filler*, são responsáveis por conferir à resina composta suas propriedades mecânicas e físicas. As cargas melhoram a resistência à abrasão, aumentam a dureza e reduzem a contração de polimerização. Elas podem ser feitas de diferentes materiais, como: silicatos de vidro de bário e estrôncio: oferecem radiopacidade, permitindo que as restaurações sejam vistas em radiografias; sílica coloidal e zircônia: usadas em resinas nanoparticuladas, conferem excelente polimento e maior resistência ao desgaste.

A quantidade e o tamanho das partículas de carga influenciam diretamente as propriedades da resina. Resinas com partículas maiores tendem a ser mais resistentes, mas apresentam pior acabamento estético e maior rugosidade superficial. Já resinas nanoparticuladas ou microparticuladas, com partículas menores, permitem uma superfície mais lisa e melhor polimento, porém, podem ser menos resistentes à fratura.

A fração volumétrica de carga pode variar de 50% a 85%, sendo que resinas com maior conteúdo de carga apresentam menor contração de polimerização e melhores propriedades mecânicas.

O agente de união é responsável por promover a ligação entre as partículas inorgânicas e a matriz orgânica. Ele garante que as partículas de carga fiquem melhor distribuídas e se liguem à matriz de resina, o que melhora as propriedades mecânicas e a durabilidade do material. O agente de união mais comum é o silano, que forma uma ponte química entre a matriz orgânica e as partículas de carga.

Portanto, a composição das resinas compostas é projetada para equilibrar propriedades estéticas, mecânicas e de manipulação. A matriz orgânica fornece a base estrutural, as partículas de carga inorgânicas conferem resistência e durabilidade, e o agente de união garante a coesão entre esses componentes. Modificadores como pigmentos e sistemas de iniciação permitem uma variedade de opções para atender às exigências clínicas. A contínua evolução na composição tem levado ao desenvolvimento de resinas com melhor desempenho, como as resinas nanoparticuladas e bulk fill, que oferecem vantagens em relação às suas antecessoras (Reis e Loguercio, 2021).

2.3. Resinas Bulk Fill

As resinas compostas podem ser classificadas em resinas de inserção incremental e de incremento único, também chamadas bulk fill. As primeiras são também chamadas de resinas convencionais, sendo atualmente as mais comercializadas, porém, apresentam uma limitação com relação à sua profundidade de polimerização, pois, com o aumento da espessura do incremento, há uma diminuição no grau de conversão do material e aumento da tensão de polimerização, afetando suas propriedades mecânicas. Com isso, sua técnica requer a sua inserção em incrementos de até 2 mm de espessura, necessitando de maior tempo clínico e treinamento, para evitar contaminações e riscos de formações de bolhas (Reis e Loguercio, 2021).

Uma das inovações mais recentes no mercado de resinas compostas foi o desenvolvimento das resinas bulk fill. Estas resinas permitem a inserção única em camadas de até 4 a 5 mm, em comparação com as resinas convencionais que exigem camadas mais finas (Figura 1). Isto é alcançado devido a incorporação de partículas de carga maiores, reduzindo a quantidade de pigmentos e alterando os sistemas monoméricos dos compósitos (Osiewicz et al., 2022). A composição das

resinas bulk fill é similar à das resinas convencionais, no entanto, cada fabricante realiza ajustes específicos para aprimorar suas propriedades. Essas modificações podem incluir a adição de monômeros modificados, cargas flexíveis ou fotoiniciadores, visando otimizar a polimerização e reduzir o estresse gerado durante o processo de fotopolimerização (Carrillo-Marcos et al., 2022; Gaviria-Martinez et al., 2023; Menezes et al., 2024), permitindo uma maior profundidade de cura com a luz convencional, reduzindo o tempo clínico sem comprometer as propriedades mecânicas (Garcia et al., 2023).

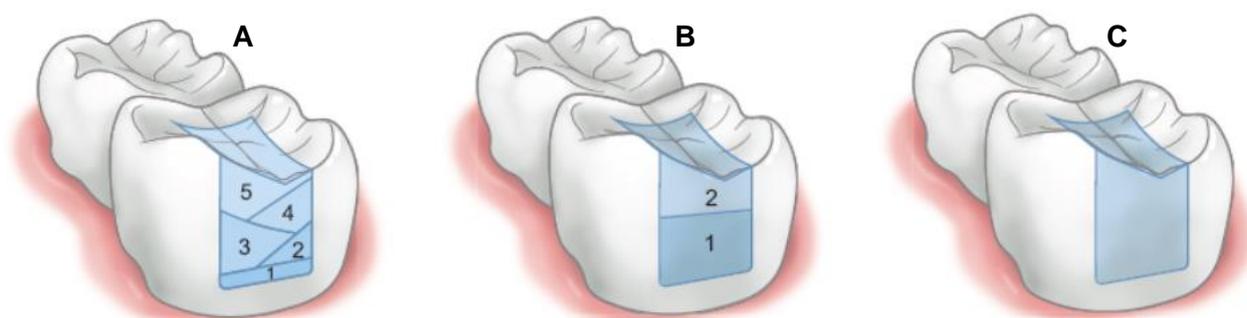


Figura 1 - Técnica de inserção da resina composta de modo incremental (A) e técnicas de bulk fill (B e C). A diferença entre as técnicas B e C é que na B utiliza-se uma resina bulk fill de baixa viscosidade e, portanto, faz-se necessário sua cobertura com uma resina composta de uso universal (viscosidade regular ou alta). Já na técnica C, emprega-se uma resina bulk fill de viscosidade regular, que já apresenta propriedades mecânicas suficientes para ficar exposta às tensões mastigatórias da cavidade bucal (Fonte: Reis e Loguercio, 2021).

As resinas compostas bulk fill destacam-se como uma excelente escolha clínica devido à sua alta qualidade em resistência e durabilidade. Essas resinas possuem notável biocompatibilidade e apresentam propriedades físicas aprimoradas, como resistência superior ao desgaste e maior dureza superficial. Essas características resultam da incorporação de nanopartículas e cargas metálicas cerâmicas, que otimizam a superfície da resina, facilitando o processo de modelagem e polimento, conferindo um acabamento estético aprimorado (Carrillo-Marcos et al., 2022).

Estas resinas disponíveis atualmente podem ser de baixa ou regular viscosidade. As de baixa viscosidade necessitam de uma camada adicional de resina com melhores propriedades mecânicas, que pode ser uma resina convencional (com viscosidade regular ou alta) ou uma bulk fill de viscosidade regular (Figura 1) (Osiewicz et al., 2022). No entanto, esse passo não é necessário ao usar resinas bulk fill de viscosidade regular (Menezes et al., 2024).

No início, a introdução dessas resinas compostas gerou preocupações entre os clínicos sobre a contração de polimerização e as tensões internas, que poderiam afetar a adaptação marginal às paredes da cavidade. No entanto, estudos laboratoriais têm demonstrado resultados satisfatórios, que em muitos casos são equivalentes ou até superiores aos das resinas compostas aplicadas pela técnica incremental (Reis e Loguercio, 2021).

Apresentam desempenho comparável às resinas convencionais em termos de contração de polimerização e resistência à fratura, com a vantagem adicional de simplificar o processo restaurador (Menezes et al., 2024). Esses materiais são altamente translúcidos para favorecer a transmissão de luz e permitir a polimerização adequada nas camadas mais profundas da restauração. No entanto, essa alta translucidez pode resultar em uma tonalidade acinzentada que afeta a estética. As últimas gerações de resinas bulk fill aumentaram o conteúdo de carga, visando aprimorar suas propriedades mecânicas, o que torna esses materiais ainda mais indicados para grandes restaurações posteriores em comparação com as resinas compostas tradicionais (Osiewicz et al., 2022).

2.4. Resinas Monocromáticas

Mais recentemente, resinas monocromáticas surgiram como uma tentativa de simplificar ainda mais o processo restaurador, oferecendo uma resina de tonalidade única que se adapta a diferentes variações de cor de esmalte e dentina (Korkut e Türkmen, 2021). Embora ainda em fase de avaliação, as resinas monocromáticas prometem facilitar o trabalho clínico sem comprometer a estética final. Estudos iniciais, como o de Scotti et al. (2020), sugerem que, apesar de terem um bom desempenho estético, ainda há limitações quanto à sua durabilidade em comparação com as resinas compostas convencionais.

A correspondência de cor entre resinas compostas e a estrutura dentária tem sido desafiadora devido à variedade de tonalidades e sensibilidades técnicas envolvidas (Sanchez et al., 2019). As resinas compostas monocromáticas foram introduzidas na odontologia restauradora para simplificar a seleção de cores e reduzir o tempo de atendimento dos pacientes (Durand et al., 2021; da Silva et al., 2023; Oliveira et al., 2024). Essas resinas têm a capacidade de combinar com todas

as tonalidades clássicas da escala Vita (Figura 2) utilizando apenas uma única cor (Agaccioglu & Yilmaz, 2024), apresentando um efeito camaleão, que é a capacidade de mudar de cor de acordo com o ambiente. Esse efeito reduz a diferença de cor entre a resina e os dentes naturais, contribuindo para resultados estéticos mais satisfatórios (Chen et al., 2024).

No desenvolvimento de resinas compostas de tonalidade única, é possível identificar duas abordagens tecnológicas principais. A primeira consiste na redução ou eliminação de pigmentos, aumentando a quantidade de material translúcido, o que facilita sua integração com o ambiente natural (Ilie, 2023). A segunda abordagem envolve a utilização de coloração induzida pela estrutura, por meio da criação de microestruturas específicas que promovem a reflexão seletiva da luz (Kim et al., 2019).

Exemplos de compósitos de cor única incluem a Palfique Omnichroma e a Vittra APS Unique. Esses materiais utilizam tecnologias avançadas de correspondência óptica, adaptando-se automaticamente às tonalidades dentárias. Estudos têm demonstrado que as resinas compostas de cor única simplificam a seleção de cores, reduzindo o tempo clínico, recursos físicos e financeiros (de Abreu et al., 2021, Altinişik & Özyurt, 2023).



Figura 2 – Resina monocromática Palfique Omnichroma em dentes artificiais, antes e depois da fotoativação. Nota-se que a resina se adapta à cor do elemento dentário, independentemente de seu matiz ou croma (Fonte: Perfil técnico da resina Palfique Omnichroma – Tokuyama Dental).

A resina Palfique Omnichroma, lançada em 2019 pela Tokuyama Dental, foi o primeiro compósito universal de tonalidade única. Trata-se de uma resina composta que apresenta partículas inorgânicas esféricas de 260 nm, nanoaglomeradas, de zircônia-sílica, com distribuição uniforme (Oliveira et al., 2024). Desenvolvida com tecnologias inovadoras e isenta de pigmentos, é descrita pelo fabricante como uma resina suprananoparticulada (100 nm a 900 nm) (Reis e Loguercio, 2011; Oliveira et al., 2024). Suas propriedades ópticas baseiam-se na ‘cor estrutural’, uma tecnologia de coloração inteligente que permite ao compósito

responder a ondas de luz de frequências específicas, refletindo precisamente o comprimento de onda dentro do espectro de cores naturais dos dentes (Sanchez et al., 2019).

A resina Vittra APS Unique, da FGM Dental, é um compósito nano-híbrido, com nanopartículas arredondadas, com tamanho médio de 200 nm, e uma estrutura de preenchimento nanoagregada (Alp et al., 2023; Oliveira et al., 2024), com tonalidade única, que apresenta um efeito de mesclagem que reproduz a tonalidade do dente durante a polimerização. Além disso, a tecnologia exclusiva Advanced Polymerization System (APS), desenvolvida pelo fabricante, utiliza uma combinação de fotoiniciadores que interagem entre si para intensificar a polimerização da luz emitida pelo fotopolimerizador (Alharbi et al., 2024). Esse sistema APS confere alta resistência à polimerização, aumentando a taxa de conversão e melhorando as propriedades mecânicas do material (Basílio et al., 2021).

2.3. Propriedades das Resinas Compostas

As propriedades físicas e de superfície, a composição da matriz orgânica, o tipo e a quantidade de partículas de carga, e o processo de polimerização das resinas compostas influenciam diretamente sua durabilidade, estabilidade e comportamento clínico, como resistência à abrasão, polimerização, radiopacidade e rugosidade superficial. A seguir, abordaremos as propriedades de interesse do nosso estudo – Rugosidade superficial e Radiopacidade:

2.3.1. Rugosidade Superficial

A rugosidade superficial é uma propriedade importante das resinas compostas que influencia diretamente o desempenho clínico, a estética e a longevidade das restaurações dentárias. Superfícies mais lisas proporcionam menor acúmulo de placa bacteriana, melhor estética e maior longevidade da restauração. Uma superfície rugosa pode aumentar o acúmulo de biofilme e promover cáries ao redor da restauração. Além disso, uma maior rugosidade prejudica a estabilidade de cor, levando a manchas mais frequentes (Batista e

Castro, 2019; Pietrokovski et al., 2022; Biçer et al., 2024). A rugosidade de 0,3 μm na superfície de uma restauração é detectável pela língua do paciente, enquanto 0,2 μm é considerado o limite crítico para a adesão de bactérias (Biçer et al., 2024).

A rugosidade superficial refere-se às variações na textura da superfície de um material, ou seja, é um conjunto de variações microgeométricas que geram pequenas elevações (picos) e depressões (vales) em uma superfície (Batista e Castro, 2019). Em resinas compostas, essas variações são decorrentes das diferenças de altura e irregularidades que ficam na superfície após o processo de polimerização e acabamento. Ela pode ser influenciada por diversos fatores, como o tipo de resina, tamanho e tipo de partículas de carga, técnica de acabamento e polimento, além do desgaste ao longo do tempo.

A composição e o tamanho das partículas de carga inorgânicas (fillers) desempenham um papel fundamental na rugosidade superficial das resinas compostas (Sang et al., 2021). A distribuição, tipo e tamanho dessas partículas determinam o nível de acabamento que pode ser obtido com o polimento (Biçer et al., 2024).

A técnica de acabamento e polimento também desempenha um papel crucial na obtenção de uma superfície lisa. Este processo remove as irregularidades criadas durante a modelagem da restauração e a polimerização, permitindo um acabamento mais suave, um alto nível de brilho e, como resultado, aumentaria a dureza superficial da resina (Paolone et al., 2021; Nithya et al., 2020).

Durante a polimerização, a matriz de resina composta sofre uma leve contração, o que pode causar tensões superficiais e rugosidade. Além disso, a presença de uma camada de inibição superficial — uma fina camada de resina não completamente polimerizada que permanece na superfície após a cura — pode aumentar a rugosidade, pois essa camada é removida parcialmente no polimento.

Com o tempo, a rugosidade superficial de uma restauração de resina composta pode aumentar devido ao desgaste mecânico ou químico. A abrasão mecânica (como a causada pela mastigação ou escovação) pode remover parte das partículas de carga ou expor a matriz orgânica, resultando em maior rugosidade (Sang et al., 2021). A exposição prolongada a ácidos (de alimentos ou bebidas) ou agentes de higiene bucal pode amolecer a matriz resinosa, aumentando a rugosidade superficial (El-Rashidy et al., 2023).

2.3.1.1. Parâmetros de avaliação de rugosidade superficial

A rugosidade superficial das resinas compostas pode ser medida e quantificada por diversos parâmetros que fornecem informações sobre a textura e as características da superfície (ISO 4287). Esses parâmetros são essenciais para avaliar o comportamento clínico das resinas compostas, uma vez que superfícies mais rugosas podem comprometer tanto a estética quanto a durabilidade da restauração (Biçer et al, 2024).

A rugosidade pode ser medida por métodos ópticos ou mecânicos, nos quais a área de análise é dividida em cinco subáreas. Em seguida, calcula-se uma linha média do perfil, em que as áreas dos picos acima e abaixo dessa linha se equivalem. Com base nesses fundamentos, diversos parâmetros podem ser determinados para representar a rugosidade da superfície (Batista e Castro, 2019). Dois parâmetros muito utilizados para avaliar a rugosidade superficial são:

Ra (Rugosidade aritmética): é o parâmetro mais comumente utilizado para descrever a rugosidade de superfícies. Ele mede a média das variações verticais (picos e vales) da superfície em relação à linha média, ou seja, o desvio médio das irregularidades da superfície em relação à linha central em micrômetros (μm) (Batista e Castro, 2019) (Figura 3). Quanto maior o valor de Ra, mais rugosa é a superfície. Superfícies com Ra abaixo de $0,2 \mu\text{m}$ são consideradas lisas o suficiente para evitar acúmulo significativo de biofilme, enquanto valores superiores a isso indicam uma maior tendência ao seu acúmulo (Sang et al., 2021). O Ra é usado para prever a capacidade de uma superfície de acumular biofilme bacteriano, além de afetar a estética e o brilho da restauração.

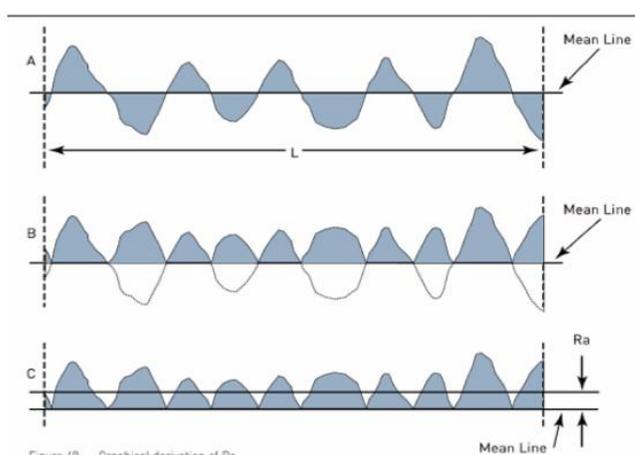


Figura 3 – Representação gráfica de Ra. (A) Perfil com linha central; (B) Porções inferiores do perfil invertido; (C) Ra é a média do perfil (Fonte: Batista e Castro, 2019).

Sa (Rugosidade média tridimensional): é um parâmetro tridimensional (3D) que mede a rugosidade média da superfície em todas as direções. Ao contrário do Ra, que é unidimensional, o Sa considera a rugosidade em um plano tridimensional, proporcionando uma visão mais abrangente da topografia da superfície (Figura 4). Um valor de Sa menor indica uma superfície mais lisa, enquanto valores mais altos indicam uma maior rugosidade global. O Sa é particularmente relevante para superfícies que são submetidas a forças multidimensionais, como as áreas de oclusão, onde o desgaste e a rugosidade podem ocorrer em diferentes direções.

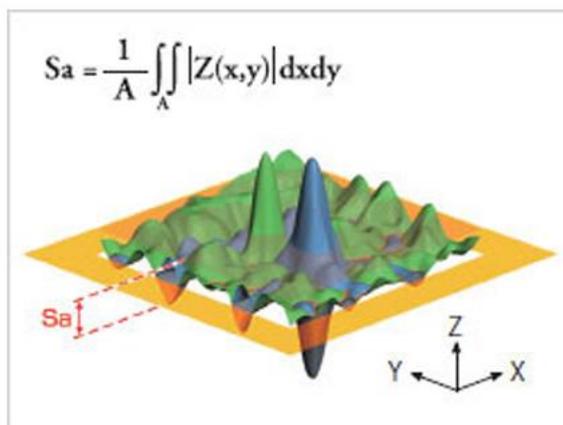


Figura 4 – Representação do parâmetro Sa (Fonte: Fonte: Batista e Castro, 2019).

2.3.1.2. Técnicas de Medição da Rugosidade Superficial

Os parâmetros acima mencionados são obtidos utilizando instrumentos e técnicas de medição precisas. Para avaliar a rugosidade superficial, instrumentos como os perfilômetros de contato, de não-contato (óptico), para análise quantitativa, e o microscópio eletrônico de varredura, para análise qualitativa da topografia das superfícies, são comumente utilizados (Daud et al., 2018; Batista e Castro, 2019).

Os perfilômetros de contato medem a rugosidade superficial rastreando a superfície com uma ponta de diamante que se move ao longo de uma linha. Eles medem as variações na altura da superfície ao longo de um caminho definido. Tem como vantagem a precisão em superfícies pequenas e resultados confiáveis, e como desvantagem é que podem danificar superfícies delicadas e não fornecem informações tridimensionais (Figura 5 – A).

Os perfilômetros sem contato ou ópticos utilizam lasers ou luz para medir a rugosidade sem tocar a superfície. Eles capturam imagens tridimensionais da superfície e medem as variações de altura. É um método não invasivo e capaz de medir grandes áreas sem danificar o material, porém, pode não ser tão preciso em superfícies com reflexividade alta (Figura 5 – B).

A MEV (microscopia eletrônica de varredura) permite visualizar a superfície em detalhes microscópicos, proporcionando uma análise qualitativa da rugosidade. Embora não forneça medições numéricas diretas como os perfilômetros, ela pode ajudar a identificar padrões de desgaste e variações de textura.

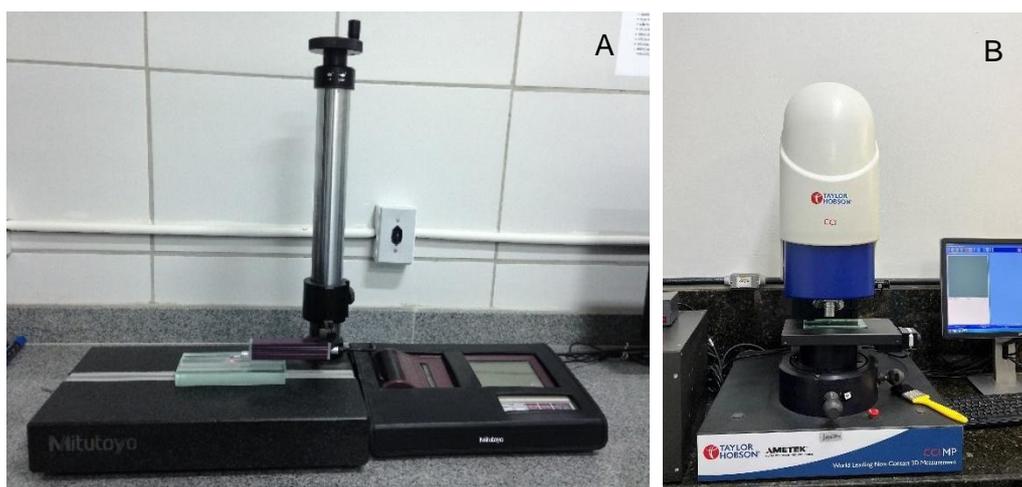


Figura 5 – (A) Rugosímetro de contato (Surftest SJ-301 – Mitutoyo, Japão); (B) Perfilômetro Óptico 3D sem contato (Talysurf CCI MP, Leicester, UK) (Fonte: autoria própria).

A rugosidade superficial das resinas compostas é uma propriedade essencial para garantir o sucesso clínico e estético das restaurações. Os parâmetros de avaliação como Ra e Sa fornecem uma visão detalhada da topografia da superfície, permitindo identificar irregularidades que podem comprometer a longevidade da restauração. A escolha adequada do material e o uso de técnicas apropriadas de polimento ajudam a minimizar a rugosidade e melhorar a funcionalidade e a estética das resinas compostas.

2.3.2. Radiopacidade

A radiopacidade é uma propriedade crítica para permitir que as restaurações de resina composta sejam visualizadas em radiografias, facilitando o diagnóstico de cáries secundárias e outras falhas (Agaccioglu & Yilmaz, 2024). Para isso, as resinas são enriquecidas com partículas de óxidos metálicos, como o bário, estrôncio, itérbio ou zircônia, que possuem alta densidade e bloqueiam a passagem de raios-X (Babaier et al., 2022). De acordo com a ISO 4049, a radiopacidade de um material restaurador deve ser igual ou superior à do esmalte (Dukic et al., 2012; Gündoğdu & Akgül, 2023).

É uma propriedade fundamental das resinas compostas e refere-se à capacidade de um material de bloquear ou absorver radiação de raios-X, tornando-se visível nas radiografias (Darvell, 2018). Materiais com alta radiopacidade aparecem mais claros nas radiografias, enquanto os materiais radiolúcidos (de baixa radiopacidade) aparecem mais escuros (Rosado et al., 2023). Essa característica é essencial em odontologia, uma vez que permite a distinção entre a restauração e as estruturas dentárias ao redor, facilitando o diagnóstico clínico e o acompanhamento das restaurações (Babaier et al., 2022).

A radiopacidade das resinas compostas é influenciada principalmente pela composição do material, especialmente pelo tipo e concentração das cargas inorgânicas adicionadas à matriz resinosa, seu tamanho e distribuição, espessura do material restaurador e proporção da matriz orgânica. Como também por fatores extrínsecos ao material, o sistema de imagem radiográfica e os parâmetros de exposição utilizados (tipo de filme, distância focal, tempo de exposição e a voltagem do aparelho de raios-X), por isso a padronização é importante (ISO: 13116; Babaier et al., 2022).

A composição das resinas e os elementos radiopacos utilizados influenciam diretamente sua radiopacidade, ajustando o material às necessidades específicas de cada tipo de aplicação, seja para restaurações estéticas, durabilidade em camadas profundas ou equilíbrio entre esses fatores (Agaccioglu & Yilmaz, 2024).

As cargas inorgânicas (fillers) são os principais responsáveis pela radiopacidade nas resinas compostas. Eles são compostos por materiais inorgânicos que contêm elementos de alto número atômico, como: Bário (Ba), Zircônio (Zr), Estrôncio (Sr), Itérbio (Yb) e Óxidos de ítrio e lantânio. A maior radiopacidade é fornecida pelo itérbio ($Z = 70$), seguido pelo bário ($Z = 56$), ítrio ($Z = 39$), estrôncio ($Z = 38$), zinco ($Z = 30$), silício ($Z = 14$), e alumínio ($Z=13$) (Balci et

al., 2023; Xu et al., 2023). Esses elementos têm alta densidade e absorvem significativamente a radiação de raios-X, contribuindo para uma maior radiopacidade (Dukic et al., 2012, Dionysopoulos et al., 2018; Rosado et al., 2023). Quanto maior a concentração de partículas de filler com elementos de alto número atômico, mais radiopaca será a resina composta (Gündoğdu & Akgül, 2023). A incorporação de agentes radiopacificadores nos materiais estéticos é cuidadosamente controlada, pois pode impactar negativamente a translucidez e a estabilidade de cor (Kopuz & Erçin, 2024). O bário é um dos mais utilizados, embora sua quantidade seja limitada para evitar efeitos indesejados na transparência do material (Ralf, 2021).

A radiopacidade também é influenciada pelo tamanho das partículas de filler. Resinas compostas com partículas maiores podem apresentar radiopacidade mais elevada em determinadas áreas. No entanto, as resinas microhíbridas e nanohíbridas, que utilizam partículas de menor tamanho e alta distribuição, também conseguem proporcionar boa radiopacidade, pois mantêm uma alta carga de elementos radiopacos (Suh et al., 2017; Rosado et al., 2023).

A espessura de uma restauração de resina composta também influencia em sua radiopacidade. Uma resina composta que possui uma radiopacidade suficiente em camadas espessas pode não ser radiopaca o suficiente quando utilizada em camadas mais finas (Rosado et al., 2023; Kopuz & Erçin, 2024). Por isso, é importante considerar tanto a formulação do material quanto as técnicas de aplicação para garantir radiopacidade adequada em todas as dimensões.

A matriz orgânica da resina composta é composta principalmente por polímeros, que são radiolúcidos (não radiopacos). Portanto, a proporção entre a matriz orgânica e a carga inorgânica também influencia a radiopacidade final. Quanto maior a proporção de fillers inorgânicos, maior a radiopacidade, pois cargas inorgânicas têm um índice de refração mais alto em comparação a monômeros de resina (Miletic et al., 2017; Agaccioglu & Yilmaz, 2024).

A tecnologia e o tipo de sistema radiográfico empregado, como radiografia digital ou analógica, influenciam diretamente a percepção da radiopacidade. Sistemas digitais, por exemplo, podem oferecer ajustes de contraste e resolução que aumentam a visibilidade dos materiais radiopacos, enquanto sistemas analógicos podem depender mais da qualidade do filme e do processamento químico (Hosney et al., 2017).

A dose de radiação, o tempo de exposição e a intensidade do feixe radiográfico são fatores críticos. Uma exposição mais intensa ou prolongada pode aumentar o contraste radiográfico, destacando as áreas com maior radiopacidade. No entanto, doses excessivas podem resultar em imagens com baixo contraste e comprometimento na leitura, enquanto exposições insuficientes dificultam a visualização de detalhes importantes (Dukic et al., 2012; Kopuz & Erçin, 2024).

A posição e o ângulo de incidência do feixe de raio-X em relação ao material podem impactar a forma como a radiopacidade é registrada na imagem. Um ângulo desfavorável pode resultar em áreas de sombra ou perda de definição, enquanto uma distância inadequada pode influenciar a resolução e o contraste observados (Kopuz & Erçin, 2024).

A sensibilidade e resolução do detector radiográfico, como o sensor em sistemas digitais ou o tipo de filme nos analógicos, também são determinantes. Detectores mais sensíveis captam variações sutis na radiopacidade, aprimorando a qualidade da imagem e a identificação de detalhes importantes do material.

Para garantir a eficácia clínica, a radiopacidade das resinas compostas deve seguir os padrões estabelecidos pelas agências reguladoras. De acordo com a norma ISO 4049, a radiopacidade de materiais restauradores dentários deve ser, no mínimo, igual à do esmalte dentário ou da dentina para que seja detectada nas radiografias intraorais (Gündoğdu & Akgül, 2023).

A resina composta deve ter uma radiopacidade maior que a da dentina para que seja facilmente distinguida das estruturas dentárias subjacentes, especialmente em áreas de risco, como margens cervicais e interfaces com o substrato dentário, além de permitir a detecção de cáries secundárias e falhas na restauração. Contudo, é importante que essa radiopacidade não ultrapasse um limite superior, de modo a não dificultar a identificação de possíveis lesões de cárie (Ferracane et al., 2017; Yeung, 2022).

Os diferentes tipos de resinas compostas, incluindo as resinas convencionais, bulk fill e monocromáticas apresentam variações na radiopacidade devido às suas diferentes formulações (Figura 6).

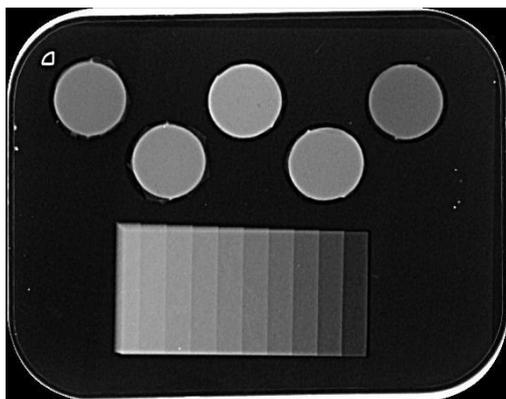


Figura 6 – Radiografia de corpos de prova confeccionados com diferentes tipos de resina composta e matriz de alumínio usada como referência (Fonte: autoria própria).

As resinas bulk fill são formuladas para aplicação em camadas mais espessas e, para garantir sua visibilidade em profundidade, recebem uma quantidade maior de partículas radiopacas. Componentes como óxidos de bário e outros compostos de metal pesado são adicionados em concentrações mais elevadas para garantir que, mesmo em camadas profundas, o material seja visualizado claramente em radiografias. Assim, elas apresentam uma radiopacidade geralmente maior que as resinas convencionais, proporcionando um contraste radiográfico aprimorado (Rosado et al., 2023; Kopuz & Erçin, 2024).

Com foco na uniformidade de cor e na estética, as resinas monocromáticas geralmente têm uma composição que equilibra elementos radiopacos com uma carga menor em comparação às resinas bulk fill. Isso se deve à busca por uma estética mais translúcida, mas é comum incluir uma quantidade moderada de óxidos de bário ou outros elementos que garantam alguma radiopacidade, sem comprometer o efeito monocromático. A radiopacidade tende a ser menor que nas resinas bulk fill, porém suficiente para um diagnóstico visual adequado em camadas finas. Ainda não existem estudos suficientes na literatura sobre a radiopacidade da maioria desses materiais, sendo necessário mais pesquisas sobre o assunto (Agaccioglu & Yilmaz, 2024; Kopuz & Erçin, 2024).

A radiopacidade é uma propriedade crítica das resinas compostas, essencial para o diagnóstico clínico, o acompanhamento e a longevidade das restaurações. Resinas compostas radiopacas facilitam a detecção de cáries secundárias, a avaliação de margens restauradoras e a localização de falhas. A escolha de materiais restauradores com radiopacidade adequada, aliada ao conhecimento técnico das características dos diferentes tipos de resinas, é fundamental para garantir o sucesso clínico das restaurações em odontologia. Portanto, o estudo desses materiais é importante para a seleção correta no

contexto clínico, garantindo restaurações que atendam às necessidades de estética, durabilidade e visibilidade radiográfica.

2.3.2.1. Parâmetros de Avaliação da Radiopacidade de Resinas Compostas

A radiopacidade das resinas compostas é avaliada através de parâmetros específicos que asseguram sua eficácia clínica e diagnóstico adequado. Os principais parâmetros utilizados para a avaliação da radiopacidade das resinas compostas garantem que o material seja facilmente visível nas radiografias, permitindo diagnósticos precisos e o monitoramento adequado das restaurações ao longo do tempo. Esses parâmetros incluem a equivalência à escala de alumínio, comparações com tecidos dentários naturais, espessura da amostra, métodos radiográficos e normas internacionais, todos essenciais para a prática odontológica segura e eficaz.

A radiopacidade de um material é medida pela sua capacidade de atenuar os raios-X em comparação a um padrão de referência, geralmente o esmalte dentário ou o alumínio (Figura 7). Ela é expressa em milímetros de equivalência ao alumínio (mm Al). Quanto maior a radiopacidade de um material, mais brilhante ele aparecerá na radiografia, facilitando sua visualização em comparação com os tecidos dentários e as cáries.

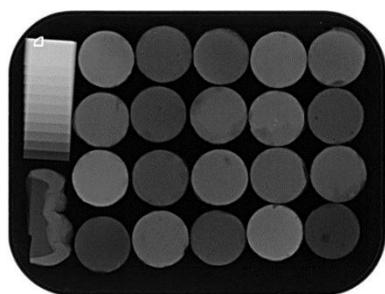


Figura 7 – Radiografia de corpos de prova representativos de resinas compostas, seção dentária e escala de alumínio (Fonte: Gündoğdu & Akgül, 2023).

A equivalência à escala de alumínio (mm Al) é o principal parâmetro utilizado para avaliar a radiopacidade de materiais dentários (Figura 8). A Organização Internacional de Padronização (ISO 13116) recomenda a utilização de uma cunha de Al com pelo menos 98% de pureza. De acordo com a norma ISO 4049, a radiopacidade dos materiais restauradores dentários deve ser expressa em milímetros de equivalência ao alumínio (mm Al), ou seja, a capacidade do material de absorver raios-X é comparada à do alumínio.

Segunda as normas, o alumínio é amplamente utilizado como padrão para avaliar a radiopacidade de materiais dentários devido a sua densidade e composição similares aos tecidos dentários. A radiopacidade dos materiais dentários pode ser quantificada usando uma escala de cinza que compara os materiais a diferentes espessuras de alumínio. Isso cria um padrão confiável para verificar se a radiopacidade de um material restaurador é suficiente para distinguir o material do tecido ao redor nas radiografias. Além disso, o alumínio é fácil de obter e manipular em diferentes espessuras, o que facilita a criação de referências padronizadas que podem ser usadas em estudos e comparações clínicas, tornando os testes mais consistentes e replicáveis.

Segundo a ISO 4049, para que um material restaurador seja considerado radiopaco, conforme as especificações do fabricante, ele deve ter uma radiopacidade igual ou superior à do alumínio puro (Al) de mesma espessura. Além disso, esta norma estabelece que o valor mínimo de radiopacidade dos materiais restauradores deve ser equivalente ao da dentina de mesma espessura. As resinas compostas devem ter uma radiopacidade igual ou superior à da dentina e, idealmente, próxima à do esmalte, que varia entre 1,5 a 2,5 mm Al.

As normas apresentam duas abordagens para medir a radiopacidade em milímetros de alumínio (mm Al). A primeira é um método direto, que envolve o uso de um densitômetro, comumente aplicado em radiografias convencionais. A segunda é uma abordagem indireta, realizada digitalmente com software de imagem, que registra os valores de tons de cinza (pixels) para estimar a radiopacidade (Pekkan, 2016; Babaier et al., 2022).



Figura 8 – Matriz de alumínio utilizada como padrão referência para medir a radiopacidade de materiais dentários. (Fonte: autoria própria).

A radiopacidade de resinas compostas é frequentemente comparada à radiopacidade de tecidos dentários naturais, como o esmalte dentário (apresenta radiopacidade que varia entre 1,5 e 2,5 mm de equivalência ao alumínio) e a dentina (sua radiopacidade é menor que a do esmalte, geralmente variando entre 1,0 e 1,5

mm Al). Isso se deve ao fato de o esmalte ser composto quase exclusivamente por cristais inorgânicos de hidroxiapatita, enquanto a dentina possui uma maior quantidade de material orgânico em sua estrutura (Dionysopoulos et al., 2018).

A espessura da amostra do material restaurador utilizado no teste de radiopacidade é um parâmetro crítico. Resinas compostas de diferentes espessuras podem apresentar radiopacidades variáveis (Babaier et al., 2022). O teste padrão é geralmente realizado com amostras de espessura entre 1 mm e 2 mm (Pekkan e Ozcan, 2012; Hosney et al., 2017), simulando as condições clínicas de aplicação. Quanto maior a espessura do material, maior a expectativa de radiopacidade, o que pode afetar os resultados clínicos e a visualização radiográfica (Babaier et al., 2022).

A radiopacidade das resinas compostas é avaliada por meio de radiografias digitais ou convencionais. O método utilizado deve ser controlado, garantindo uma fonte de radiação de raios-X padronizada e estável, com parâmetros de exposição consistentes (tensão, corrente e tempo de exposição). Os filmes radiográficos ou sensores digitais são usados para registrar as imagens das amostras de resina composta e da escala de alumínio, que é utilizada como padrão comparativo (Brennan, 2014; Gündoğdu & Akgül, 2023).

Os sistemas radiográficos digitais, softwares de análise de imagem são frequentemente utilizados para mensurar a radiopacidade de resinas compostas. Esses softwares permitem a quantificação precisa da densidade radiográfica do material em comparação ao padrão de alumínio e aos tecidos dentários. Os valores são expressos em uma escala de cinza, que reflete a quantidade de radiação absorvida pelo material em relação ao tecido dentário. Além disso, oferecem várias vantagens, incluindo menor tempo de exposição, visualização instantânea da imagem, fornecer um diagnóstico de cárie não invasivo e armazenamento automático em um computador, eliminando a necessidade de processamento químico, não poluindo o meio ambiente (Pedrosa et al., 2011; Brennan, 2014;).

A análise de imagens digitais na odontologia se divide em duas abordagens principais: o método indireto e o direto. No método indireto, radiografias convencionais são digitalizadas por meio de scanners, enquanto no direto, as imagens são transmitidas automaticamente para o computador após a captura. Nessa última categoria, sensores diretos como dispositivos de carga acoplada capturam a imagem diretamente, enquanto sistemas semidiretos utilizam placas de

fósforo. Essas placas são preferidas pela flexibilidade e ausência de fios, mas precisam ser rapidamente digitalizadas após a exposição devido à sensibilidade à luz visível. Nas radiografias digitais, a imagem é composta por pixels organizados em coordenadas x e y, cada um com um valor de cinza específico que contribui para a formação da imagem. A radiopacidade de um material pode ser medida analisando os valores de cinza em imagens radiográficas digitais, que variam de 0 a 255 em uma escala de 8 bits ou de 0 a 65.535 em uma escala de 16 bits. Valores próximos a 0 indicam transparência total (radiotransparência), enquanto valores mais altos representam maior opacidade (Agaccioglu & Yilmaz, 2024; Gündoğdu & Akgül, 2023).

A radiopacidade das resinas compostas pode ser avaliada ao longo do tempo, considerando fatores como degradação, desgaste e mudanças nas propriedades do material durante o ciclo clínico. Essa avaliação longitudinal é importante para verificar se a radiopacidade do material se mantém adequada durante a vida útil da restauração.

2.4. Condições adversas no ambiente bucal

O ambiente bucal é dinâmico e constantemente exposto a várias condições adversas que podem influenciar a longevidade e o desempenho dos materiais restauradores, como as resinas compostas, bem como a saúde geral dos tecidos bucais. Essas condições incluem variações físicas, químicas e biológicas que afetam diretamente as restaurações e o tecido dentário ao longo do tempo, como: variações de temperatura, pH ácido, forças mecânicas, biofilme bacteriano e substâncias abrasivas contribuem para o desgaste, degradação e falhas em restaurações (Garcia et al., 2023; Biçer et al, 2024). Por isso, é essencial selecionar materiais restauradores que sejam resistentes a essas adversidades e aplicar técnicas clínicas adequadas para minimizar seus impactos, garantindo a longevidade das restaurações.

A escovação dentária é um componente essencial da higiene bucal, mas também pode ter impactos significativos sobre a durabilidade das resinas compostas (Daud et al, 2020). Embora a escovação regular seja crucial para a remoção de placa e prevenção de cáries, o atrito mecânico associado à escovação, combinado com os componentes abrasivos de certas pastas de dente, pode afetar

as propriedades físicas e estéticas das restaurações feitas com resina composta (Sang et al., 2021; dos Santos et al., 2019).

O desgaste superficial ou abrasão causado pelo contato contínuo entre a escova de dentes e a resina composta pode desgastar a superfície restaurada ao longo do tempo, podendo aumentar sua rugosidade. Esse desgaste depende de diversos fatores como a frequência e força da escovação, o tipo de cerdas da escova e a técnica de escovação utilizada (Biçer et al., 2024).

As pastas de dente também apresentam ação abrasiva, por conter em sua composição, partículas abrasivas projetadas para remover biofilme bacteriano e manchas da superfície dos dentes. No entanto, esses abrasivos também podem afetar a superfície das resinas compostas. As consequências incluem o desgaste acelerado e perda de brilho (Heintze et al., 2010).

A escovação dentária regular é fundamental para a manutenção da saúde bucal e das restaurações de resina composta. Para garantir a longevidade das restaurações, recomenda-se o uso de escovas de cerdas macias, pastas dentais de baixa abrasividade e técnicas de escovação suave e eficiente. A consulta regular ao dentista para polimento profissional e revisão das restaurações também é essencial para manter as resinas compostas em ótimas condições.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral:

Avaliar a radiopacidade e a rugosidade superficial de resinas compostas bulk fill e monocromáticas comparadas a uma resina composta convencional.

3.2. Objetivos Específicos:

3.2.1. Analisar a rugosidade superficial das resinas compostas bulk fill (Filtek One Bulk Fill – 3M ESPE e Tetric N-Ceram Bulk Fill – Ivoclar Vivadent) e monocromáticas (Vittra APS Unique – FGM Dental e Palfique Omnichroma – Tokuyama Dental), por meio de perfilometria, antes e após exposição à escovação simulada, comparando-as a uma resina convencional (Filtek Z350 XT – 3M ESPE);

3.2.2. Avaliar a radiopacidade das resinas compostas bulk fill (Filtek One Bulk Fill – 3M ESPE e Tetric N-Ceram Bulk Fill – Ivoclar Vivadent) e monocromáticas (Vittra APS Unique – FGM Dental e Palfique Omnichroma – Tokuyama Dental), por meio de análise de imagem digital, antes e após exposição à escovação simulada, comparando-as a uma resina convencional (Filtek Z350 XT – 3M ESPE).

4. ARTIGO 1

***In vitro* Comparative Analysis of the Radiopacity and Surface Roughness of Bulk-Fill and Monochromatic Composite Resins after Simulated Toothbrushing**

O manuscrito a seguir foi submetido para publicação no periódico “*Dental Materials*” e está em fase de análise:

Abstract

Objetivo: Avaliar *in vitro* as propriedades de radiopacidade e rugosidade superficial de resinas compostas bulk fill e monocromáticas em comparação a uma resina convencional.

Métodos: Quatro resinas compostas (duas bulk fill: Filtek One Bulk Fill e Tetric N-Ceram Bulk Fill; e duas monocromáticas: Vittra APS Unique e Palfique Omnichroma) foram comparadas a uma resina convencional (Filtek Z350 XT). Foram confeccionados 50 corpos de prova (n=10) com 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. A rugosidade foi analisada por Perfilômetro Óptico 3D, e a radiopacidade, com aparelho de radiografia intraoral em três tempos (0,2s, 0,32s e 0,4s). Após as medições iniciais, as amostras passaram por 50.000 ciclos de escovação simulada, simulando 4 anos de uso clínico. Os dados foram analisados estatisticamente com testes não-paramétricos, significância de 5% e poder de 80%, utilizando o software SPSS 20.0.

Resultados: Inicialmente, as resinas monocromáticas apresentaram superfícies mais lisas ($p < 0,05$). Após a escovação, todas as resinas, exceto a Tetric N-Ceram Bulk Fill ($p > 0,05$), exibiram aumento significativo na rugosidade ($p < 0,05$). Ao final, os valores de rugosidade tornaram-se semelhantes entre as resinas ($p > 0,05$). Antes da escovação, as resinas apresentaram maior radiopacidade no tempo de exposição de 0,2s, com diferenças significativas entre os tempos e os materiais ($p < 0,001$). Após o desgaste abrasivo, as amostras não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$).

Significância: As resinas monocromáticas foram mais lisas inicialmente, indicando uma estética inicial superior, enquanto a Tetric N-Ceram Bulk Fill demonstrou maior

resistência à abrasão. A radiopacidade mostrou-se mais elevada no tempo de exposição de 0,2s, o que permite menor dose de radiação sem comprometer a imagem radiográfica. Após a escovação simulada, as resinas apresentaram rugosidade e radiopacidade semelhantes.

Keywords: Composite Resins; Dental Radiography; Dental Materials; Surface Roughness; Radiology.

1. Introdução

As resinas compostas tornaram-se o material de escolha para restaurações devido à sua capacidade de reproduzir formato, função e estética do elemento dental [1,2]. Atualmente, as resinas compostas são recomendadas como alternativa estética e econômica para restaurações diretas e indiretas, devido à otimização de suas formulações, aprimoramento de propriedades e métodos inovadores de aplicação [3,4]. Seu processo evolutivo permitiu o desenvolvimento de compósitos modernos, a exemplo de resinas bulk fill e monocromáticas [5,6], que permitem boas propriedades mecânicas, diminuição de tempo clínico e praticidade na etapa restauradora [3,6,7].

As resinas bulk fill demonstram um desempenho clínico comparável ao das resinas convencionais quanto à contração de polimerização e resistência à fratura, oferecendo ainda a vantagem de simplificar o procedimento restaurador [8]. Esses materiais possuem alta translucidez, facilitando a passagem de luz para permitir uma polimerização eficaz nas camadas mais profundas da restauração, contudo, pode conferir uma tonalidade acinzentada, comprometendo a estética [6]. As gerações mais recentes de resinas bulk fill apresentam maior conteúdo de carga, o que aprimora suas propriedades mecânicas, tornando-as especialmente adequadas para grandes restaurações posteriores [9]. Fato esse é comprovado por ensaios clínicos, indicando que as resinas bulk fill, quando comparadas às convencionais, apresentam desempenhos clínicos aceitáveis ao longo de um período de acompanhamento de 1 semana a 10 anos, com altas taxas de sobrevivência e mínimas taxas anuais de falha [1,8,10,11].

Já a resina monocromática é um compósito avançado e apresenta partículas de carga esféricas e homogêneas, que ajustam a transmissão da luz ao longo da faixa de cor vermelho-amarelo, combinando com a tonalidade dos dentes adjacentes, permitindo, dessa forma, que assuma a coloração dentária, sem incorporação de corantes ou pigmentos adicionais [12]. Este material de tonalidade única se propõe a adaptar-se às 16 tonalidades da escala Vita, assim, minimiza o tempo clínico, uma vez que a etapa da seleção de cor da resina e a técnica de estratificação não se fazem necessárias [3, 12,13,14,15,16].

A utilização de resinas com essas características é uma prática clínica já prevalente na Odontologia, compreender sobre suas propriedades físicas e de superfície faz-se necessário. A rugosidade superficial é uma propriedade essencial das resinas compostas, pois influencia o desempenho clínico, a estética e a durabilidade das restaurações. Superfícies mais lisas minimizam o acúmulo de biofilme e aumentam a longevidade estética, enquanto superfícies rugosas podem favorecer o acúmulo de placa, alterações de cor e cáries secundárias, comprometendo o sucesso clínico [17,18]. Fatores como a composição do material, força de escovação, abrasividade do creme dental e tipo de cerdas da escova também impactam na rugosidade [19,20,21].

A radiopacidade, por sua vez, é fundamental para a detecção radiográfica de cáries secundárias e falhas restauradoras, sendo determinada pelo tipo e quantidade de carga inorgânica presente, como óxidos de bário, estrôncio, zircônio e itérbio [2,22,23]. No entanto, a adição desses agentes radiopacificadores exige controle rigoroso, pois pode comprometer a translucidez e a estabilidade de cor dos materiais estéticos [24]. A dose de radiação, o tempo de exposição e a intensidade do feixe radiográfico são fatores cruciais para aquisição da imagem radiográfica, pois influenciam diretamente o contraste da imagem. Exposições inadequadas, sejam excessivas ou insuficientes, podem comprometer a qualidade e a visualização de detalhes importantes [24,25].

Nesse contexto, compreender sobre as propriedades com ênfase na prática clínica de resinas bulk fill e monocromáticas, é de extrema importância. Apesar do crescente interesse em ambos os materiais, não foram encontrados estudos que combinem uma análise dos dois tipos de resinas após um desafio abrasivo de escovação, associada à avaliação de radiopacidade, como o presente estudo. As resinas bulk fill vêm sendo objeto de pesquisa há mais tempo [6,8,23,26,27,28],

enquanto as resinas monocromáticas emergiram mais recentemente como uma alternativa promissora e, embora trabalhos recentes tenham abordado a avaliação da rugosidade dessas últimas [7,18,29], estudos específicos sobre a propriedade de radiopacidade ainda são escassos na literatura [15,24].

Diante o exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a radiopacidade e a rugosidade superficial de resinas compostas bulk fill e monocromáticas, comparadas a uma resina composta convencional antes e após exposição à escovação simulada. As hipóteses nulas deste estudo foram que não há diferença estatisticamente significativa na radiopacidade e na rugosidade superficial entre as resinas compostas após o desafio abrasivo, e que os diferentes tempos de exposição para a obtenção da radiopacidade não influenciam os resultados.

2. Materiais e métodos

2.1. Preparo das amostras

Foi realizado um estudo laboratorial *in vitro*, conduzido com base nas diretrizes do CRIS Guidelines para a padronização de relatos de pesquisas laboratoriais. A abordagem adotada foi indutiva, com procedimento estatístico e comparativo, utilizando técnica de documentação direta em laboratório (Lakatos & Marconi, 2019). Quatro resinas compostas comercialmente disponíveis no mercado, sendo duas resinas bulk fill (OB e TB) e duas monocromáticas (VU e PO), foram testadas e comparadas a uma convencional (FZ) – controle. A Tabela 1 lista os materiais restauradores, seus fabricantes, suas composições e números de lote.

Para confecção dos corpos de prova, os materiais foram manipulados de acordo com as recomendações dos fabricantes em temperatura mantida a $23\pm 10^{\circ}\text{C}$. Todos os procedimentos foram realizados com o tamanho amostral de 10 corpos de prova por grupo ($n=10$) [20,23].

As amostras foram preparadas em uma matriz de teflon em forma de disco para cada resina, com 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. A parede interna da cavidade cilíndrica do molde foi lubrificada com gel lubrificante à base de água (K-MED, CIMED, São Paulo, Brasil) e posicionada em uma placa de vidro, colocando entre elas e sobre a matriz, uma tira de poliéster transparente e reta

(AllPrime, São José, Santa Catarina, Brasil). O material foi colocado no molde usando um condensador de superfície lisa e extremidade arredondada, e depois foi pressionado com um dispositivo da matriz para uma melhor deposição e se obter uma superfície mais lisa e uniforme. Posteriormente, foi fotoativado por um fotopolimerizador Valo Cordless Grand (Ultradent, Indaiatuba, São Paulo, Brasil) do tipo LED (Diodo emissor de luz), de acordo com tempo de polimerização indicado pelo fabricante para cada resina (20s), com irradiância de 1470 mW/cm^2 , verificada por meio de um radiômetro RD-7 (ECEL, Ribeirão Preto, SP, Brasil).

Após a polimerização os corpos de prova foram retirados da matriz e foi realizada a remoção dos excessos do material com lâmina de bisturi. Depois foram removidos do molde e examinados com uma lupa para verificar ausência de bolhas ou quaisquer irregularidades, os corpos com falta de homogeneidade e trincas foram excluídos e foram preparados novos em seu lugar [31]. Posteriormente, as amostras foram randomicamente alocadas em seus grupos, numeradas de 1 a 10, de forma aleatória, e imersas individualmente em seus recipientes, identificados por cores, com água destilada a 37°C .

Tabela 1 - Materiais restauradores utilizados, fabricantes, composições e números de lote.

Grupo	Fabricante	Composição	Número de lote
Filtek Z 350 XT* (FZ)	3M ESPE (St. Paul, MN, EUA)	Matriz orgânica: Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA, PEGDMA Carga: Combinação de sílica não aglomeradas (20nm), zircônia não aglomeradas (4-11 nm) e aglomerados, clusters, de partículas agregadas de zircônica/sílica (combinação de partículas de sílica com 20nm e zircônia com 4-11 nm).	2333800615
Filtek One Bulk Fill* (OB)	3M ESPE (St. Paul, MN, EUA)	Matriz orgânica: AFM, AUDMA, UDMA e 1,12-dodecano-DMA Carga: Combinação de partículas de sílica de 20 nm não-aglomeradas, partículas de zircônia de 4 a 11 nm não-aglomeradas, nanoaglomerados de zircônia/sílica (partículas de sílica de 20 nm e partículas de zircônia de 4 a 11 nm) e partículas de trifluoreto de itérbio em partículas aglomeradas de 100 nm.	2325600343
Tetric N-Ceram Bulk Fill* (TB)	Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein)	Matriz orgânica: Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, aditivos, catalisadores, estabilizadores. Carga: Vidro de bário, pré-polímero, tri-fluoreto de itérbio e óxidos mistos (tamanho médio de 600nm).	Z04HHR
Vittra APS Unique* (VU)	FGM Dental (Joinville, SC, Brasil)	Matriz orgânica: Mistura de monômeros de metacrilato, fotoiniciador com sistema avançado de polimerização (APS), iniciadores, estabilizadores e silano. Produtos livres de bisfenol A (BPA). Carga: vidro boro-alumínio-silicato.	290923
Palfique Omnichroma* (PO)	Tokuyama Dental (Tokyo, Japão)	Matriz orgânica: UDMA, TEGDMA Carga: Partículas de carga supra-nano esféricas de tamanho uniforme (SiO ₂ -ZrO ₂ de 260 nm), partículas de carga compostas em formato arredondado (contendo SiO ₂ -ZrO ₂ esférico de 260 nm).	089E33

Fonte: Perfil técnico do fabricante*

2.2. Análise da rugosidade superficial

O ensaio de rugosidade superficial inicial foi realizado em Perfilômetro Óptico 3D sem contato (Talysurf CCI MP, Leicester, UK) do Laboratório Integrado de Biomateriais da UFPB. Para realização da análise, o sensor do aparelho foi então programado para escanear as áreas escolhidas de cada corpo de prova de resina. Após o período de armazenagem em água destilada, as amostras foram submetidas a análise da rugosidade superficial no perfilômetro, utilizando valores de cut-off (comprimento de amostragem) de 2,5 μm , aumento de 50x, modo de leitura "XY", resolução de 1024px x 1024 pixel, zoom de 1 e velocidade de escaneamento de 3x [32]. Foram realizadas três leituras aleatórias no centro de cada amostra e o valor médio foi calculado de acordo com a ISO 25178 [33], sendo a média aritmética dos valores absolutos dos desvios de altura da superfície medidos a partir do plano de melhor ajuste (S_a), para determinar o valor médio da rugosidade (μm) por amostra.

2.3. Análise da radiopacidade

Inicialmente, para a padronização das radiografias, e para manter os corpos de prova e a matriz de radiopacidade de alumínio posicionados sobre a placa de fósforo corretamente e na mesma posição, foi produzido um dispositivo de acrílico para este fim. A distância focal de 30 cm, entre a cabeça da unidade de raios X e os corpos de prova, foi medida com uma régua, mantendo o ângulo entre a cabeça da unidade de raios X e as amostras de 90° [23].

As amostras foram divididas em 10 grupos, cada grupo com um corpo de prova de cada resina composta. Após o período de armazenagem em água destilada, foi utilizada uma matriz de alumínio (99,7% de pureza), de 10x20x10mm, com degraus de 1 a 10 mm de espessura (Odeme Dental Research, Santa Catarina, Brasil), para avaliar a radiopacidade quantitativamente. Os 5 corpos de prova de cada resina foram posicionados, juntamente com a matriz de alumínio, sobre uma placa de fósforo intraoral tamanho 2 periapical adulto (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Baden-Württemberg, Alemanha) e radiografados por um aparelho de radiografia intraoral FOCUS 50540-IMG (Kavo, Potsdam, Alemanha) localizado na Clínica Medical Face, em João Pessoa/PB, operando a 70 kVp e 7

mA, em três variações de tempo, 0,20s, 0,32s e 0,4s, por três vezes em cada tempo (Gündoğdu & Akgül, 2023) (Figura 1). As placas de fósforo foram colocadas em um sistema de aquisição de imagem VistaScan Mini Easy (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Baden-Württemberg, Alemanha) e assim, as imagens digitais obtidas foram salvas em 16 bits, no formato DICOM, e exportadas para o software ImageJ (National Institutes of Health, Maryland, EUA) para análise da escala de cinza.

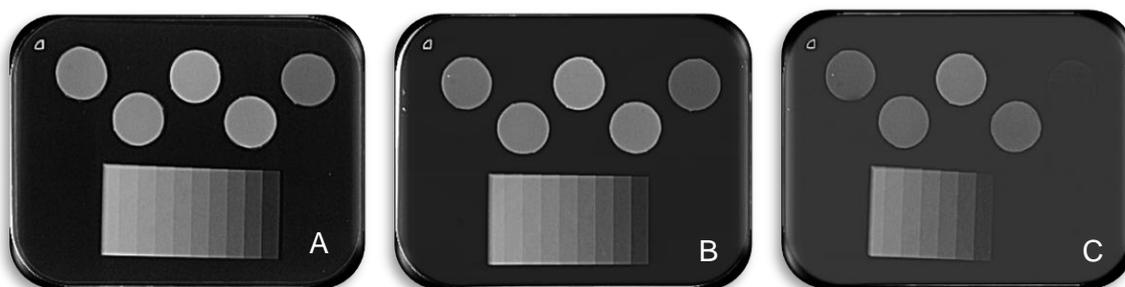


Fig. 1 – Radiografias dos corpos de prova de resina composta juntamente com a matriz de alumínio, em tempos diferentes. As resinas compostas estão dispostas da esquerda para a direita: FZ, OB; TB; VU e PO. (A) t: 0,2s; (B) t: 0,32s; (C) t: 0,4s.

Para calcular os valores médios de cinza (MGVs) de cada amostra, as regiões de interesse (ROIs) foram selecionadas no centro de cada corpo de prova. Foi realizada uma medição única padronizada em uma área de 6x6 pixels quadrados, em cada corpo, e a média foi calculada a partir das três leituras obtidas em cada tempo. Os valores de MGv, variando de 0 (preto absoluto) a 65.535 (branco absoluto), foram determinados por um algoritmo desenvolvido especificamente para esse fim no software ImageJ, com todas as análises conduzidas pelo mesmo operador. Todas as medições foram concluídas evitando bolhas de ar, rachaduras e deficiências [23,28] (Figura 2).

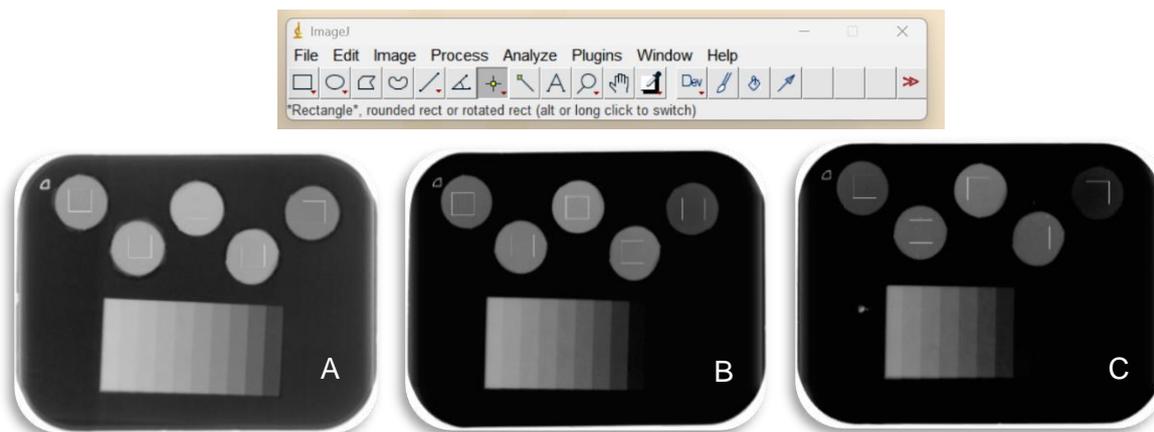


Fig. 2 – Imagens radiográficas dos corpos de prova em DICOM de cada resina composta, mostrando as ROIs para obtenção dos valores de MGv, selecionadas e analisadas no ImageJ. As resinas compostas estão dispostas da esquerda para a direita: FZ, OB; TB; VU e PO. (A) t: 0,2s; (B) t: 0,32s; (C) t: 0,4s.

2.4. Tratamento das amostras

Após as aferições iniciais, os corpos foram armazenados individualmente nos meios de armazenagem a 37°C, e passaram pelo processo de escovação simulada, com troca semanal dos meios. As aferições finais da propriedade das amostras foram efetuadas da mesma maneira supra descrita da avaliação inicial após o processo de escovação, e os dados obtidos da rugosidade e da radiopacidade das amostras foram registrados nos intervalos de tempo: inicial (T_0) e após 50.000 ciclos de escovação (T_1).

Os corpos de prova foram escovados em uma máquina de escovação simulada (Máquina de escovação XY, Biopdi, São Carlos, SP, Brasil) devidamente acoplados na máquina para evitar deslocamento. Para sua execução, foram escolhidas escovas de dentes de cerdas macias (Indicator Plus 35, Oral-B, Procter & Gamble, EUA), e foram cortadas com um motor de bancada (Marathon Motors, Caxias do Sul, RS) e um disco diamantado dupla face (American Burrs, Palhoça, SC) para adaptação na máquina, e fixadas por parafusos colocados nas laterais e no topo do suporte para a escova, cujo peso com cada escova acoplada foi de 200 gramas. O percurso coberto pela escova foi correspondente a 3,8 cm durante a execução do teste.

As amostras foram incluídas em tubos de PVC (25mm de diâmetro x 10mm de altura), por meio de silicone de condensação denso (Reflex Denso, Yller, Pelotas, RS) e foram posicionados no porta amostras, verificados quanto ao nivelamento apropriado das escovas, colocando-se 10 amostras de cada vez na máquina de escovação.

A suspensão para escovação ou *slurry* fez uso de um dentifrício convencional (Colgate Total 12 Clean Mint, Colgate-Palmolive Company, Nova Iorque, Estados Unidos) e foi preparada fazendo-se uma mistura do dentifrício com água destilada na proporção de 1:1, com agitador mecânico, até a obtenção de uma suspensão homogênea, e despejada sobre os corpos de prova (adicionando-

se 10mL de suspensão em cada poço). A máquina foi configurada com 150 escovações por minuto, movimentos lineares e carga de 200g. Os dados obtidos da radiopacidade e da rugosidade superficial das amostras foram registrados nos intervalos de tempo: inicial (T_0) e após 50.000 ciclos de escovação alternados lineares (T_1), equivalente aproximadamente a 4 anos de escovação de um indivíduo saudável [20].

Após o teste de escovação, os corpos de prova de cada grupo de resina foram removidos, lavados em água corrente e posteriormente em banho ultrassônico com água destilada durante 5 minutos, secos com papel absorvente e devolvidos a seus respectivos meios de armazenamento.

2.5. Análise estatística

Os valores de rugosidade de superfície e radiopacidade obtidos foram analisados estatisticamente de forma descritiva, por meio de frequências absolutas e percentuais, e inferencial, por meio de testes estatísticos. Previamente à execução de testes de comparação de médias dos valores, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, apresentando distribuição não-normal ($p < 0,01$) para as duas propriedades. Diante dos resultados, foi utilizada estatística não-paramétrica (teste de Wilcoxon, teste de Kruskal-Wallis e teste de Kruskal-Wallis com comparação de pares para análise da rugosidade; e os testes de Kruskal-Wallis, o teste de Kruskal-Wallis com comparação de pares e o teste Friedman para análise da radiopacidade), considerando uma significância de 5%, intervalo de confiança de 95% e poder estatístico de no mínimo 80%. A análise estatística foi realizada a partir do *Software SPSS 20.0 (IBM; New York; EUA)*.

3. Resultados

3.1. Análise de superfície

Na Tabela 2 e na Figura 3, podem ser observados os valores médios e desvio padrão, e imagens 3D da rugosidade superficial das diferentes resinas

compostas antes (T_0) e após a simulação de escovação (T_1), respectivamente. As resinas estudadas mostraram diferenças significativas na condição inicial ($p < 0,05$). A Palfique Omnichroma e Vittra APS Unique não apresentaram diferenças significativas entre si ($p > 0,05$), mas foram mais lisas que as demais resinas, que não apresentaram diferenças significativas entre elas ($p > 0,05$).

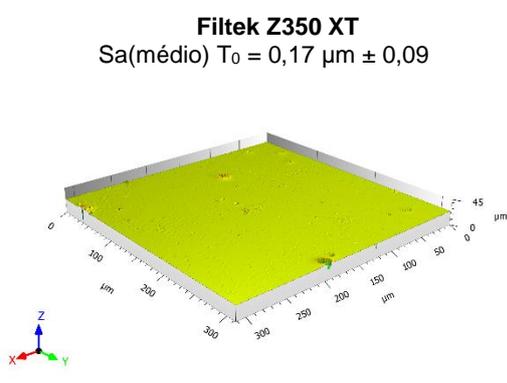
Tabela 2 - Valores médios (\pm DP) de rugosidade superficial (S_a , μm) das resinas compostas testadas antes e após escovação simulada.

Resina Composta	Rugosidade Inicial	Rugosidade Final
Filtek Z350 XT	0,17 \pm 0,09 ^{aA}	0,35 \pm 0,16 ^{bA}
Filtek One Bulk Fill	0,18 \pm 0,06 ^{aA}	0,31 \pm 0,13 ^{bA}
Tetric N-Ceram Bulk Fill	0,22 \pm 0,12 ^{aA}	0,34 \pm 0,15 ^{aA}
Vittra APS Unique	0,07 \pm 0,01 ^{aB}	0,28 \pm 0,07 ^{bA}
Palfique Omnichroma	0,07 \pm 0,03 ^{aB}	0,23 \pm 0,06 ^{bA}

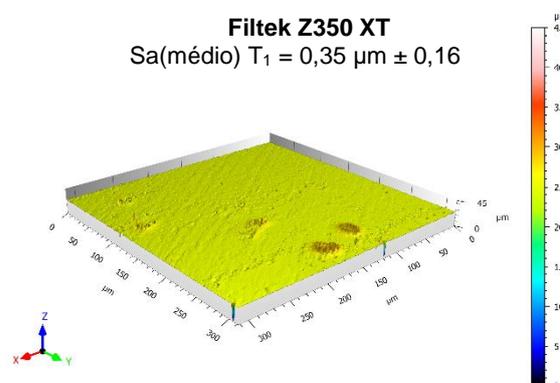
Diferentes letras minúsculas na mesma linha, e maiúsculas, nas colunas, indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

As resinas compostas Filtek Z350 XT, Filtek One Bulk Fill, Vittra APS Unique e Palfique Omnichroma apresentaram aumento significativo da rugosidade após a escovação ($p < 0,05$). A resina Tetric N-Ceram Bulk Fill não apresentou diferença estatisticamente significativa na rugosidade final em comparação à inicial ($p > 0,05$), embora tenha mostrado maior rugosidade inicial juntamente com as resinas Filtek Z350 XT e Filtek One Bulk Fill. Após o envelhecimento simulado, as rugosidades das resinas foram semelhantes ($p > 0,05$).

Antes da Escovação



Após a Escovação



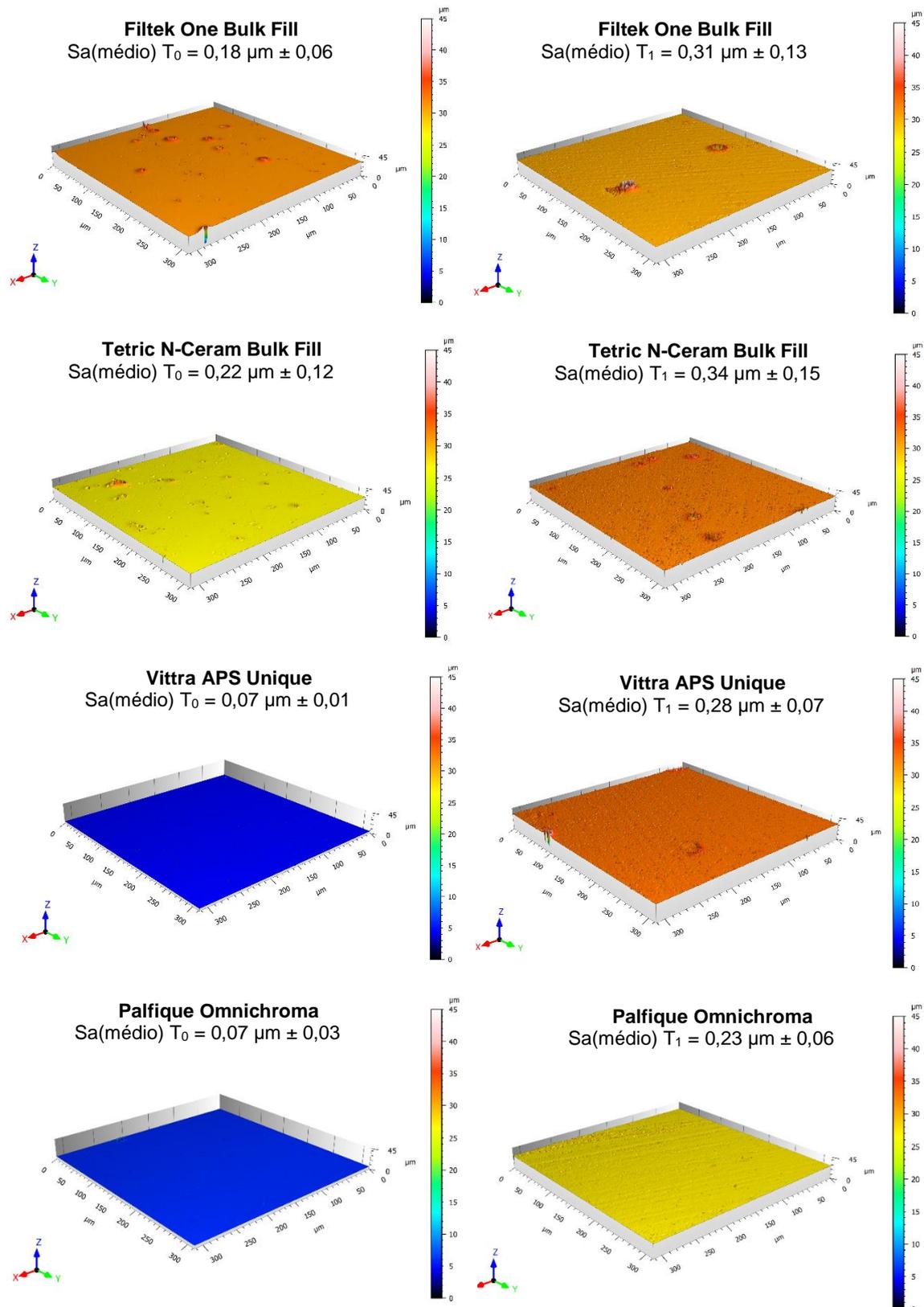


Fig. 3 – Imagens 3D da superfície dos corpos de prova representativos de cada grupo de resina composta antes e após escovação simulada, vistas através do Perfilômetro Óptico 3D sem contato.

3.2. Análise da radiopacidade

Os valores médios de MGV e desvios-padrão das resinas compostas testadas, antes (T_0) e após a simulação de escovação (T_1), respectivamente, nos três tempos de exposição (0,2s, 0,32s e 0,4s), estão disponibilizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios de MGV (\pm DP) das resinas compostas testadas antes e após escovação simulada, nos três tempos de exposição (0,2s, 0,32s e 0,4s).

Resina Composta	Radiopacidade inicial				Radiopacidade Final			
	0,2s	0,32s	0,4s	p valor	0,2s	0,32s	0,4s	p valor
FZ	36532,05 \pm 1235,19	39899,94 \pm 1469,48	43544,6 \pm 637,51	<0,001	34075,15 \pm 9809,46	38231,64 \pm 2862,31	41297,78 \pm 6057,63	1,000
OB	40313,43 \pm 954,49	43245,21 \pm 1306,95	46414,61 \pm 441,88	<0,001	34573,29 \pm 13056,45	37870,38 \pm 6480,17	40924,19 \pm 1949,19	1,000
TB	44258,08 \pm 956,34	46809,73 \pm 1033,80	49530,42 \pm 500,98	<0,001	34665,28 \pm 15904,75	37301,26 \pm 10367,54	39949,72 \pm 5314,64	1,000
VU	37952,09 \pm 1099,80	41058,25 \pm 1308,01	44643,97 \pm 670,85	<0,001	33998,23 \pm 10685,84	37818,26 \pm 3538,03	40895,86 \pm 4061,18	1,000
PO	29864,29 \pm 730,98	33645,14 \pm 1407,9	38160,46 \pm 421,656	<0,001	34189,83 \pm 4328,45	39899,24 \pm 6695,72	43564,52 \pm 14646,88	1,000
p valor	<0,001	<0,001	<0,001		0,996	0,953	0,997	

Os valores de $p < 0,05$ indicam diferenças estatisticamente significativas entre si (linhas e colunas).

Antes do desafio abrasivo, a radiopacidade das resinas foi significativamente maior no menor tempo de exposição (0,2s), seguido pelos tempos de 0,32s e 0,4s, para todas as resinas ($p < 0,001$). Após a escovação, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tempos de exposição ($p > 0,05$).

Antes da escovação, as resinas apresentaram diferenças significativas de radiopacidade entre si ($p < 0,001$). A Tetric N Ceram Bulk Fill apresentou a maior radiopacidade, enquanto a Palfique Omnichroma apresentou a menor (na ordem da maior para a menor radiopacidade: TB > OB > VU > FZ > PO, em todos os tempos de exposição). A resina TB apresentou a maior média de valor de cinza, sem diferença estatística em relação à resina One Bulk Fill ($p > 0,05$), mas com diferenças significativas em comparação com as outras resinas em todos os tempos de exposição ($p < 0,05$). As resinas Vittra e Omnichroma foram semelhantes à resina Z350 XT em todos os tempos de exposição ($p > 0,05$).

Após o desgaste abrasivo, as diferenças entre as resinas não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

4. Discussão

O presente estudo avaliou as propriedades de rugosidade e radiopacidade de dois tipos de resinas: bulk fill e monocromáticas, em comparação com uma resina composta convencional, em dois tempos: baseline (T_0) e após escovação (T_1). As amostras foram submetidas a 50.000 ciclos de escovação simulada, equivalentes a quatro anos de uso clínico [20], um período superior ao adotado na maioria dos estudos. Sabe-se, entretanto, que as resinas compostas podem manter sua qualidade na cavidade bucal por longos períodos [8,34,35,36].

As resinas monocromáticas apresentaram maior lisura inicial ($p < 0,05$). Após escovação simulada, todas as resinas, exceto a Tetric N-Ceram Bulk Fill, apresentaram aumento significativo de suas rugosidades superficiais, e exibiram rugosidade superficial similar entre elas ($p > 0,05$). Quanto à radiopacidade, antes do desafio abrasivo, as resinas apresentaram maior radiopacidade no menor tempo de exposição (0,2s), com diferenças significativas entre os tempos e entre as resinas ($p < 0,001$). A Tetric N Ceram Bulk Fill mostrou a maior média de radiopacidade e a Palfique Omnicroma a menor. Após a escovação, não foram observadas diferenças significativas entre os tempos e entre as resinas ($p > 0,05$).

A rugosidade superficial é crucial para o desempenho das restaurações, sendo o valor de $0,2 \mu\text{m}$ o limite aceitável para minimizar a retenção de biofilme [7,21]. O estudo de Jones et al. [37] indica que alterações em torno de $0,3 \mu\text{m}$ são perceptíveis para a maioria dos pacientes. As resinas aqui testadas apresentaram valores iniciais abaixo do limite, exceto a Tetric N Ceram Bulk Fill ($0,22 \mu\text{m} \pm 0,12$). Após a simulação de escovação, a rugosidade média variou entre $0,23 \mu\text{m} \pm 0,06$ (Palfique Omnicroma) à $0,35 \mu\text{m} \pm 0,16$ (Filtek Z350 XT), superior ao desejável. Isso ressalta a importância clínica de o paciente retornar ao dentista para realizar polimentos periódicos, a fim de manter a qualidade da restauração e prevenir o acúmulo de biofilme, garantindo assim a longevidade e estética do tratamento [18].

Na análise entre os grupos, as resinas monocromáticas apresentaram menores valores de rugosidade superficial antes da escovação simulada (T_0) ($p < 0,05$), não exibindo diferenças significativas entre si ($p > 0,05$), o que pode sugerir

uma estética inicial superior e menor tendência ao acúmulo de biofilme em comparação às outras resinas. A diferença observada entre os grupos monocromáticos e as resinas convencionais e bulk fill pode ser atribuída ao tamanho e tipo das partículas de carga, à distribuição e interação dessas partículas na matriz, bem como à composição dos monômeros [38,39].

As resinas monocromáticas utilizam cargas nanoestruturadas e uma matriz homogênea, e, resinas com partículas de menor tamanho geralmente apresentam menor rugosidade superficial, pois se distribuem de forma mais uniforme e se integram melhor à matriz resinosa, resultando em uma superfície mais lisa e menos propensa à retenção de biofilme [18]. A Palfique Omnichroma possui partículas supra-nanoesféricas de zircônia-sílica ($\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2$) de 260 nm, nanoaglomeradas, enquanto a Vittra APS Unique é uma resina nanohíbrida com nanopartículas arredondadas de 200 nm e estrutura de preenchimento nanoagregada [16,18,40].

No estudo de Alharbi et al. [18], a resina Palfique Omnichroma apresentou menor rugosidade superficial ($p < 0,001$), em comparação a outros materiais, incluindo a monocromática Vittra APS Unique e uma resina convencional (Filtek Z250 XT). No presente estudo, a resina Vittra APS Unique apresentou um comportamento semelhante ao da resina Palfique Omnichroma, o que pode estar associado à composição da matriz resinosa ou ao tamanho das partículas de carga inorgânica. As diferenças nos achados podem estar relacionadas à metodologia utilizada, uma vez que Alharbi et al. [18] empregaram interferometria de varredura vertical para a análise da rugosidade.

Verificou-se uma diferença estatisticamente significativa das resinas após o desgaste abrasivo ($p < 0,05$), exceto para a Tetric N Ceram Bulk Fill ($p > 0,05$), que, após a escovação simulada, manteve-se estável, sugerindo maior resistência ao desgaste abrasivo em condições clínicas simuladas, possivelmente devido ao maior tamanho das partículas de carga, segundo seu fabricante (aproximadamente 600 nm). Isso sugere que o tamanho das partículas de carga influencia diretamente a rugosidade superficial, pois, resinas com partículas maiores tendem a ser mais resistentes, mas podem exibir maior rugosidade superficial [21], o que explica a TB apresentar, inicialmente, rugosidade superficial superior juntamente com as resinas convencional (FZ) e a outra bulk fill (OB), comparadas às resinas monocromáticas.

Assim, a primeira hipótese nula foi parcialmente rejeitada, pois as resinas apresentaram diferenças estatisticamente significativas na rugosidade superficial

após serem submetidas ao desafio abrasivo, exceto uma. Esse resultado corrobora o estudo de Alex & Venkatesh [29], que também apresentou aumento significativo na rugosidade de superfície de uma resina composta convencional (Spectrum – Dentsply Sirona) e outra monocromática (Omnichroma – Tokuyama Dental), após a abrasão com escova de dentes.

Este mesmo estudo [29] analisou a resina (Omnichroma) antes e após a escovação, comparando-a a um compósito convencional (Spectrum). Os resultados mostraram valores de rugosidade superficial mais elevados para a resina monocromática em ambos os momentos ($p < 0,05$). No entanto, os autores sugerem que essa diferença pode estar relacionada à rugosidade induzida pelo acondicionamento do material no molde de resina, além de empregarem uma metodologia diferente da utilizada neste estudo, avaliando a rugosidade por meio de um rugosímetro de contato.

Após a escovação simulada (T_1), não foi observada diferença estatisticamente significativa entre grupos ($p > 0,05$). Esse resultado está em concordância com os achados de Han et al. [41] e Vaz et al. [32], que também relataram que a resina Tetric N Ceram Bulk Fill não apresentou diferença significativa na rugosidade superficial em comparação com a resina Z350 XT após desafio abrasivo. O resultado deste estudo também é consistente com o trabalho de El-Rashidy et al. [39], cujos achados não mostraram diferença significativa na rugosidade superficial entre as resinas Omnicroma e Z350 XT, após envelhecimento com termociclagem e imersão em bebidas.

Embora a rugosidade superficial tenha se mostrado semelhante entre as resinas após a abrasão, é provável que a superfície dos grupos bulk fill e convencional apresentasse maior pigmentação ao longo de uma simulação de quatro anos clínicos em um ambiente bucal, por apresentarem uma rugosidade inicial superior. Isso sugere uma possível vantagem das resinas monocromáticas, especialmente em situações que exigem maior desempenho estético. No entanto, para uma avaliação mais precisa da estabilidade de cor, são necessários estudos futuros específicos sobre a susceptibilidade à pigmentação desses materiais.

A radiografia digital foi escolhida para análise de radiopacidade das resinas compostas neste estudo, devido às suas inúmeras vantagens em relação à radiografia convencional, incluindo menor dose de radiação, sustentabilidade ambiental por dispensar o processamento químico e maior facilidade no

gerenciamento de imagens [42]. Além disso, evita a necessidade de um densitômetro óptico e elimina possíveis erros no processamento de filmes, proporcionando visualização instantânea, diagnóstico não invasivo de cáries e armazenamento automático [24,43].

A radiopacidade dos materiais restauradores é determinada por vários fatores, como sua composição, o tempo de exposição radiográfica, a distância focal e o tipo de receptor de raios X [24]. Neste estudo, optou-se pela utilização de diferentes tempos de exposição radiográfica, pela necessidade de adequar o estudo à diversidade de sistemas clínicos disponíveis. Como os protocolos variam entre os profissionais, optou-se por emular três situações distintas, permitindo não apenas uma aplicação mais abrangente dos dados, mas também a identificação do tempo de exposição que apresenta melhor desempenho em termos de qualidade de imagem e eficácia diagnóstica.

O estudo de Gu et al. [44] concluiu que variações no tempo de exposição e distância focal não impactaram significativamente a radiopacidade dos materiais. Entretanto, os resultados do presente estudo divergem, mostrando que, antes da escovação, o tempo de 0,2s apresentou maior radiopacidade em comparação a 0,32s e 0,4s ($p < 0,001$). Isso levou à rejeição parcial da segunda hipótese nula, indicando diferenças significativas em T_0 . Do ponto de vista clínico, essa constatação é benéfica, pois sugere que tempos de exposição reduzidos podem ser suficientes para alcançar uma radiopacidade satisfatória das resinas, reduzindo a dose de radiação ao paciente [42].

Neste estudo, a resina Tetric N Ceram Bulk Fill apresentou a maior radiopacidade, enquanto a Palfique Omnichroma obteve a menor, em todos os tempos de exposição, antes da escovação. A Tetric foi semelhante à resina One Bulk Fill ($p > 0,05$), mas diferiu significativamente das demais resinas ($p < 0,05$). Estudos anteriores, como os de Babaier et al. [28] e Gündoğdu et al. [23], corroboram esses achados, destacando a superioridade da radiopacidade de resinas bulk fill, atribuída à presença de itérbio (Yb), em comparação a resinas convencionais que utilizam sílica (SiO_2) como partícula inorgânica, o que justifica a diferença em suas radiopacidades. A presença de radiopacificadores, como partículas de vidro e cerâmica com metais pesados (itérbio, bário, alumínio e estrôncio), é essencial para a visualização radiográfica [23]. Esses elementos aumentam a absorção de raios X, tornando os materiais mais detectáveis [45,46].

A composição e a quantidade de carga radiopaca devem garantir radiopacidade superior ao substrato dentário substituído [28] e atender à norma ISO 4049 [47]. A elevada radiopacidade nas resinas bulk fill é fundamental para a adequada visualização e identificação em margens profundas [23].

Por outro lado, neste estudo, as resinas monocromáticas foram semelhantes à resina convencional em todos os tempos de exposição, antes da escovação ($p > 0,05$). Estudos anteriores corroboram esses achados: Agaccioglu & Yilmaz [15] não observaram diferenças significativas na radiopacidade entre resinas convencionais e monocromáticas (Vittra e Omnicroma) ($p > 0,05$), enquanto Kopuz & Erçin [24] identificaram maior radiopacidade na Filtek Z250 e Vittra em relação à Omnicroma, que, embora com menor valor, foi superior ao da dentina ($p < 0,05$). A menor radiopacidade dessas resinas pode ser atribuída à composição baseada em sílica (SiO_2) e zircônia (ZrO_2), elementos com números atômicos inferiores aos de bário ou itérbio, que aumentam a radiopacidade [24]. Essas resinas visam priorizar propriedades ópticas, como translucidez e estabilidade de cor, que podem ser prejudicadas pela inclusão de elementos altamente radiopacos [15].

Após o desgaste abrasivo, as resinas apresentaram comportamentos radiográficos semelhantes, sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$), independentemente do tempo de exposição ou do tipo de material. Esse resultado pode ser atribuído a alterações na microestrutura superficial provocadas pela escovação simulada, que reduziram as diferenças iniciais relacionadas à composição e à distribuição das partículas de carga [19,21], resultando em superfícies mais homogêneas.

Neste estudo *in vitro*, é importante destacar que a simulação realizada constitui uma estimativa teórica e não reproduz com total fidelidade as condições clínicas reais, uma vez que fatores como saliva, atividade enzimática, variações de pH e temperatura não foram considerados. Além disso, a liberação de íons como bário, silício e estrôncio do material pode afetar negativamente a radiopacidade dos materiais [24]. Essas limitações, juntamente com a ausência de dados sobre radiopacidade em diferentes tempos de exposição radiográfica e envelhecimento, restringem a aplicabilidade e a generalização dos resultados para a prática clínica [15,24].

Apesar das limitações, os resultados deste estudo possuem relevância prática e fornecem uma base sólida para futuras investigações. Esses achados ressaltam a importância de aprofundar o conhecimento sobre o comportamento das resinas compostas em relação à abrasão, à rugosidade superficial e à radiopacidade. Para validar e expandir essas observações, são necessários estudos adicionais, tanto laboratoriais quanto clínicos, que avaliem a longevidade clínica e o desempenho desses materiais em condições clínicas de uso.

5. Conclusão

Inicialmente, as resinas monocromáticas apresentaram maior lisura superficial. Contudo, após o processo de escovação simulada, foi observado um aumento na rugosidade superficial em todas as resinas, exceto na Tetric N-Ceram Bulk Fill. Com relação à radiopacidade, os valores iniciais foram mais elevados no menor tempo de exposição radiográfica (0,2s), com variações influenciadas pelo tempo e material. Após o desafio abrasivo, os grupos apresentaram padrões semelhantes de rugosidade e radiopacidade, independentemente do material ou do tempo de exposição radiográfica.

Referências

- [1] Veloso SRM, Lemos CAA, de Moraes SLD, do Egito Vasconcelos BC, Pellizzer EP, de Melo Monteiro GQ. Clinical performance of bulk-fill and conventional resin composite restorations in posterior teeth: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2019 Jan;23(1):221–233. doi: 10.1007/s00784-018-2429-7. Epub 2018 Mar 28. PMID: 29594349.
- [2] Rosado L, Münchow E, Oliveira E de, Lacerda-Santos R, Freitas D, Carlo H, Verner F. Translucency and Radiopacity of Dental Resin Composites – Is There a Direct Relation? *Oper Dent*. 2023 Apr 20;48(3):E61–E69. doi: 10.2341/22-056-L.
- [3] Ahmed MA, Jouhar R, Khurshid Z. Smart Monochromatic Composite: A Literature Review. *Int J Dent*. 2022 Nov 8;2022:2445394. doi: 10.1155/2022/2445394. PMID: 36398065; PMCID: PMC9666026.

- [4]Ipek I, Bilge K. The effect of different liquids on the surface roughness and color stability of single shade and nanohybrid resin composites: An AFM and SEM analysis. *Microsc Res Tech.* 2024;87(9):2063–71. doi: 10.1002/jemt.24586.
- [5]Scotti N, Miletto I, Scansetti M, et al. One-shade resin composite: A review of clinical and laboratory performance. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(4):349–357.
- [6]Osiewicz MA, Werner A, Roeters FJM, Kleverlaan CJ. Wear of bulk-fill resin composites. *Dent Mater.* 2022 Mar;38(3):549–553. doi: 10.1016/j.dental.2021.12.138.
- [7]Chen S, Zhu J, Yu M, Jin C, Huang C. Effect of aging and bleaching on the color stability and surface roughness of a recently introduced single-shade composite resin. *J Dent.* 2024;143:104917.
- [8]Menezes AJ de O, Barbosa L do N, Leite JV Costa, Barbosa LM Madruga, Montenegro RV, Fernandes RV, Souza GM de, Andrade AKM de, Lima RBW. Clinical Outcomes of Bulk-Fill Resin Composite Restorations: A 10-Year Mapping Review and Evidence Gap Map. *J Esthet Restor Dent.* 2024;0:1–14. doi:10.1111/jerd.13339.
- [9]Alsagob EI, Bardwell DN, Ali AO, Khayat SG, Stark PC. Comparison of microleakage between bulk-fill flowable and nanofilled resin-based composites. *Inter Med Appl Sci.* 2018;10:102–9. <https://doi.org/10.1556/1646.10.2018.07>.
- [10]Atabek D, Aktaş N, Sakaryali D, Bani M. Two-year clinical performance of sonic-resin placement system in posterior restorations. *Quintessence Int.* 2017;48:743–751. doi: 10.3290/j.qi.a38855.
- [11]Hoshino IA, Fraga Briso AL, Bueno Esteves LM, Dos Santos PH, Meira Borghi Frascino S, Fagundes TC. Randomized prospective clinical trial of class II restorations using flowable bulk-fill resin composites: 4-year follow-up. *Clin Oral Investig.* 2022 Sep;26(9):5697–5710. doi: 10.1007/s00784-022-04526-6.
- [12]Eliezer R, Devendra C, Ravi N, Tangutoori T, Yesh S. Omnichroma: one composite to rule them all. *Int J Med Sci.* 2020;7(6):6–8. doi: 10.14445/23939117/ijms-v7i6p102.
- [13]Sanchez NP, Powers JM, Paravina RD. Instrumental and visual evaluation of the color adjustment potential of resin composites. *J Esthet Restor Dent.* 2019 May 16;31(5):465–470. doi: 10.1111/jerd.12488.
- [14]da Silva ETC, Charamba Leal CF, Miranda SB, Evangelista Santos M, Saeger Meireles S, Maciel de Andrade AK, Japiassú Resende Montes MA. Evaluation

- of single shade composite resin color matching on extracted human teeth. *Sci World J.* 2023;2023:4376545. <https://doi.org/10.1155/2023/4376545>.
- [15] Agaccioglu M, Yilmaz MN. The radiopacity of single-shade composite resins: A comparative evaluation. *J Esthet Restor Dent.* 2024;36:527–533.
- [16] Oliveira HLQ, Ribeiro MTH, Oliveira G, Peres TS, Bragança GF, Silva GR, Soares CJ. Mechanical and optical characterization of single-shade resin composites used in posterior teeth. *Oper Dent.* 2024;49(2):210–221. doi: 10.2341/22-112-L.
- [17] Batista A, Castro R. Métodos e técnicas de pesquisa aplicadas à odontologia. João Pessoa (PB): Editora UFPB; 2019.
- [18] Alharbi G, Al Nahedh H, Al-Saud LM, et al. Effect of different finishing and polishing systems on surface properties of universal single shade resin-based composites. *BMC Oral Health.* 2024;24:197. doi: 10.1186/s12903-024-03958-8.
- [19] dos Santos JHA, Silva NML, Gomes MGN, Paschoal MAB, Gomes IA. Whitening toothpastes effect on nanoparticle resin composite roughness after a brushing challenge: An in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2019;11(5).
- [20] Daud A, Adams AJ, Shawkat A, Gray G, Wilson NHF, Lynch CD, Blum IR. Effects of toothbrushing on surface characteristics of microhybrid and nanofilled resin composites following different finishing and polishing procedures. *J Dent.* 2020 Aug;99:103376. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103376.
- [21] Sang EJ, Song JS, Chung SH, Jin BH, Hyun HK. Influence of a new polishing system on changes in gloss and surface roughness of resin composites after polishing and brushing. *Dent Mater J.* 2021;40(3):727–735.
- [22] Dionysopoulos D, et al. Effect of filler composition of dental composite restorative materials on radiopacity in digital radiographic images. *Polym Compos.* 2018;39:E351–7.
- [23] Gündoğdu C, Akgül S. Radiopacity evaluation of different types of resin restorative materials using a digital radiography system. *Oral Radiol.* 2023 Mar 15. doi: 10.1007/s11282-023-00679-6.
- [24] Kopuz D, Erçin Ö. The radiographic evaluation of 11 different resin composites. *Odontology.* 2024;112:428–434. doi: 10.1007/s10266-023-00854-5.
- [25] Dukic W, Delija B, Derossi D, Dadic I. Radiopacity of composite dental materials using a digital x-ray system. *Dent Mater J.* 2012;31:47-53. doi:10.4012/dmj.2011-119.

- [26] Gehlot PM, Sudeep P, Manjunath V, Annapoorna BM, Prasada LK, Nandlal B. Influence of Various Desensitizing Mouthrinses and Simulated Toothbrushing on Surface Roughness and Microhardness of Tetric N-Ceram Bulk-Fill Resin Composite: An In Vitro Study and Scanning Electron Microscope Analysis. *Eur J Dent.* 2022;16:820–827. doi:10.1055/s-0041-1739547.
- [27] Tărăboanță I, Buhățel D, Brînză Concită CA, Andrian S, Nica I, Tărăboanță-Gamen AC, Brânzan R, Stoleriu S. Evaluation of the Surface Roughness of Bulk-Fill Composite Resins after Submission to Acidic and Abrasive Aggressions. *Biomedicines.* 2022;10(5):1008. doi: 10.3390/biomedicines10051008.
- [28] Babaier RS, Aldeeb MS, Silikas N, Watts DC. Is the radiopacity of CAD/CAM aesthetic materials sufficient? *Dent Mater.* 2022 Jun;38(6):1072–1081. doi: 10.1016/j.dental.2022.04.025.
- [29] Alex A, Venkatesh V. Comparative Evaluation of Surface Roughness and Color Stability Between Single-Shade Composite and Multi-Shade Composite: An In Vitro Study. *Cureus.* 2024 Jul 25;16(7):e65396. doi: 10.7759/cureus.65396.
- [30] Lakatos EM, Marconi MA. *Fundamentos de Metodologia Científica.* São Paulo: Editora Atlas; 2019.
- [31] Armas-Vega A, Casanova-Obando P, Taboada-Alvear MF, Aldas-Ramirez JE, Montero-Oleas N, Viteri-Garcia A. Effect of mouthwashes on the integrity of composite resin and resin modified glass ionomer: in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2019;11(2):e179-e184. doi: 10.4317/jced.55102.
- [32] Vaz BAS, Lima RBW, Andrade AKM de, Meireles SS, Silva FDSCM, Barbosa LMM, Santos JV do N, Macedo Neto HN, Duarte RM. Evaluation of surface roughness of restorative dental composites: influence of depth cure, time and storage medium. *RSD [Internet].* 2021 Aug 24 [cited 2024 Nov 10];10(11):e85101119323.
- [33] ISO 25178-2 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.
- [34] Fan J, Xu Y, Si L, Li X, Fu B, Hannig M. Long-term Clinical Performance of Composite Resin or Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent.* 2021;46(1):25–44. doi: 10.2341/19-107-LIT.

- [35] Rodolpho PAD, Rodolfo B, Collares K, Correa MB, Demarco FF, Opdam NJM, Cenci MS, Moraes RR. Clinical performance of posterior resin composite restorations after up to 33 years. *Dent Mater.* 2022;38(4):680–688. doi: 10.1016/j.dental.2022.02.009.
- [36] Josic U, D'Alessandro C, Miletic V, Maravic T, Mazzitelli C, Jacimovic J, Sorrentino R, Zarone F, Mancuso E, Delgado AH, Breschi L, Mazzoni A. Clinical longevity of direct and indirect posterior resin composite restorations: An updated systematic review and meta-analysis. *Dent Mater.* 2023;39(12):1085–1094. doi: 10.1016/j.dental.2023.10.009.
- [37] Jones CS, Billington RW, Pearson GJ. The in vivo perception of roughness of restorations. *Br Dent J.* 2004;196:42–45.
- [38] Alkhudhairy FI. The effects of irradiance and exposure time on the surface roughness of bulk fill composite resin restorative materials. *Saudi Med J.* 2018;39(2):197–202. <https://doi.org/10.15537/smj.2018.2.21440>.
- [39] El-Rashidy AA, Shaalan O, Abdelraouf RM, Habib NA. Effect of immersion and thermocycling in different beverages on the surface roughness of single- and multi-shade resin composites. *BMC Oral Health.* 2023;23(1):1–8.
- [40] Alp CK, Dinçtürk BA, Altınışık H. The effect of food-simulating liquids on surface features of single shade universal composites: An in vitro study. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2023;13:157-65.
- [41] Han JM, et al. Abrasive wear and surface roughness of contemporary dental composite resin. *Dent Mater J.* 2014;33(6):725–732.
- [42] Hosney S, Abouelseoud H, El-Mowafy O. Radiopacity of resin cements using digital radiography. *J Esthet Restor Dent.* 2017;29(3):215–21.
- [43] Yoshida M, Yoshihara H, Honda E. History of digital detectors in intraoral radiography. *Dent Health Curr Res.* 2018;4:2. <https://doi.org/10.4172/2470-0886.10000135>.
- [44] Gu S, Rasimick BJ, Deutsch AS, Musikant BL. Radiopacity of dental materials using a digital X-ray system. *Dent Mater.* 2006;22:765–70. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.11.004>.
- [45] Balci M, Turkun LS, Boyacıglu H, Guneri P, Ergucu Z. Radiopacity of posterior restorative materials: a comparative in vitro study. *Oper Dent.* 2023;48:337–46. doi: 10.2341/22-042-L.

- [46] Xu X, Qiu P, Sun M, Luo J, Yu P, He L, Li J. Multifunctional epoxy resin-based composites with excellent flexural strength and X-ray imaging capacity using micro/nano structured QF-Bi₂SiO₅ fillers. *J Mater Chem B*. 2023;11:640–7.
- [47] ISO 4049: 2019 - Dentistry. Polymer-based restorative materials. Geneva: International Organization for Standardization; 2019.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo mostraram que, antes da escovação simulada, as resinas monocromáticas apresentaram superfícies mais lisas, sugerindo uma estrutura mais uniforme. Em contrapartida, as resinas bulk fill mostraram rugosidade semelhante à da resina convencional, e não se destacaram em termos de lisura. Após a escovação, a maioria das resinas mostrou aumento na rugosidade, exceto a Tetric N-Ceram Bulk Fill, que não apresentou aumento significativo, embora já tivesse o valor inicial de rugosidade mais elevado, juntamente com a resina convencional e a outra resina bulk fill. Ao comparar as resinas bulk fill e a convencional, não foram identificadas diferenças significativas, sugerindo que ambas as formulações apresentaram comportamento semelhante, antes e após envelhecimento simulado. Após análise final, todas as resinas apresentaram rugosidade similar.

Quanto à radiopacidade das resinas compostas, os resultados demonstraram que, no momento inicial, os maiores valores foram registrados no menor tempo de exposição radiográfica (0,2s), com as variações influenciadas pela composição do material e pela duração do tempo de exposição. A Tetric N Ceram Bulk Fill apresentou a maior radiopacidade, enquanto a Palfique Omnichroma demonstrou a menor rugosidade, em todos os períodos avaliados. Após a simulação de escovação, não apresentaram variações, independentemente do tempo de exposição e do material.

Esses resultados indicam que a rugosidade superficial e a radiopacidade das resinas compostas podem ser fortemente influenciadas pela sua composição e pela exposição a condições simuladas de escovação, como também aos tempos de exposição radiográfica. A escolha do material, portanto, deve considerar não apenas suas propriedades iniciais, mas também o comportamento a longo prazo frente ao desgaste diário, o que pode afetar a estética e a durabilidade das restaurações dentárias, e também as necessidades estéticas e funcionais ao selecionar a resina composta mais adequada para cada caso clínico.

REFERÊNCIAS*

Agaccioglu M, Yilmaz MN. The radiopacity of single-shade composite resins: A comparative evaluation. *J Esthet Restor Dent*. 2024;36:527–533.

Ahmed MA, Jouhar R, Khurshid Z. Smart Monochromatic Composite: A Literature Review. *Int J Dent*. 2022 Nov 8;2022:2445394. doi: 10.1155/2022/2445394. PMID: 36398065; PMCID: PMC9666026.

Alex A, Venkatesh V. Comparative Evaluation of Surface Roughness and Color Stability Between Single-Shade Composite and Multi-Shade Composite: An In Vitro Study. *Cureus*. 2024 Jul 25;16(7):e65396. doi: 10.7759/cureus.65396.

Alharbi G, Al Nahedh H, Al-Saud LM, et al. Effect of different finishing and polishing systems on surface properties of universal single shade resin-based composites. *BMC Oral Health*. 2024;24:197. doi: 10.1186/s12903-024-03958-8.

Alkudhairy FI. The effects of irradiance and exposure time on the surface roughness of bulk fill composite resin restorative materials. *Saudi Med J*. 2018;39(2):197–202. doi: 10.15537/smj.2018.2.21440.

Alp CK, Dinçtürk BA, Altınışik H. The effect of food-simulating liquids on surface features of single shade universal composites: An in vitro study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2023;13:157-65.

Altınışik H, Özyurt E. Instrumental and visual evaluation of the color adjustment potential of different single shade resin composites to human teeth of various shades. *Clin Oral Investig*. 2023;27(2):889–96. doi: 10.1007/s00784-022-04737-x.

Anusavice KJ, Shen C, Rawls R. *Materiais dentários*. 12^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2013.

Babaier RS, Aldeeb MS, Silikas N, Watts DC. Is the radiopacity of CAD/CAM aesthetic materials sufficient? *Dent Mater*. 2022 Jun;38(6):1072–1081. doi: 10.1016/j.dental.2022.04.025.

Balci M, Turkun LS, Boyacıglu H, Guneri P, Ergucu Z. Radiopacity of posterior restorative materials: a comparative in vitro study. *Oper Dent*. 2023;48:337–46. doi: 10.2341/22-042-L.

Basílio M, Gregorio R, Câmara JV, Serrano L, Campos PR, Pierote JJ, Groisman S, Pereira G, Barreto S. Influence of different photoinitiators on the resistance of union in bovine dentin: experimental and microscopic study. *J Clin Exp Dent*. 2021;13(2):e132–9. doi: 10.4317/jced.57756.

Batista A, Castro R. Métodos e técnicas de pesquisa aplicadas à odontologia. João Pessoa (PB): Editora UFPB; 2019.

Biçer Z, Yaman BC, Çeliksöz Ö, et al. Surface roughness of different types of resin composites after artificial aging procedures: an in vitro study. *BMC Oral Health*. 2024;24:876. doi: 10.1186/s12903-024-04669-w.

Brennan J. An introduction to digital radiography in dentistry. *J Orthod*. 2014.

Carrillo-Marcos A, Salazar-Correa G, Castro-Ramirez L, Ladera-Castañeda M, López-Gurreonero C, Cachay-Criado H, et al. The Microhardness and Surface Roughness Assessment of Bulk-Fill Resin Composites Treated with and without the Application of an Oxygen-Inhibited Layer and a Polishing System: An In Vitro Study. *Polymers*. 2022;14(15):3053. doi: 10.3390/polym14153053.

Chen S, Zhu J, Yu M, Jin C, Huang C. Effect of aging and bleaching on the color stability and surface roughness of a recently introduced single-shade composite resin. *J Dent*. 2024;143:104917.

Cramer NB, Stansbury JW, Bowman CN. Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *J Dent Res*. 2011;90(4):402–416.

Darvell B. Chapter 26 - Radiography. In: *Materials Science for Dentistry*. 10th ed. Woodhead Publishing; 2018.

Daud A, Gray G, Lynch CD, Wilson NHF, Blum IR. A randomized controlled study on the use of finishing and polishing systems on different resin composites using

3D contact optical profilometry and scanning electron microscopy. *J Dent.* 2018;71:25–30.

Daud A, Adams AJ, Shawkat A, Gray G, Wilson NHF, Lynch CD, Blum IR. Effects of toothbrushing on surface characteristics of microhybrid and nanofilled resin composites following different finishing and polishing procedures. *J Dent.* 2020 Aug;99:103376. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103376.

de Abreu JLB, Sampaio CS, Benalcázar Jalkh EB, Hirata R. Analysis of the color matching of universal resin composites in anterior restorations. *J Esthet Restor Dent.* 2021 Mar;33(2):269–276. doi: 10.1111/jerd.12659.

Devlukia S, Hammond L, Malik K. Is surface roughness of direct resin composite restorations material and polisher-dependent? A systematic review. *J Esthet Restor Dent.* 2023 Jul 17;35(4):1–21. doi: 10.1111/jerd.13102.

Dionysopoulos D, et al. Effect of filler composition of dental composite restorative materials on radiopacity in digital radiographic images. *Polym Compos.* 2018;39:E351–7.

da Silva ETC, Charamba Leal CF, Miranda SB, Evangelista Santos M, Saeger Meireles S, Maciel de Andrade AK, Japiassú Resende Montes MA. Evaluation of single shade composite resin color matching on extracted human teeth. *Sci World J.* 2023;2023:4376545. doi: 10.1155/2023/4376545.

dos Santos JHA, Silva NML, Gomes MGN, Paschoal MAB, Gomes IA. Whitening toothpastes effect on nanoparticle resin composite roughness after a brushing challenge: An in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2019;11(5).

Dukic W, Delija B, Derossi D, Dadic I. Radiopacity of composite dental materials using a digital X-ray system. *Dent Mater J.* 2012;31(1):47–53.

Durand LB, Ruiz-López J, Perez BG, Ionescu AM, Carrillo-Pérez F, Ghinea R, Pérez MM. Color, lightness, chroma, hue, and translucency adjustment potential of resin composites using CIEDE2000 color difference formula. *J Esthet Restor Dent.* 2021 Sep;33(6):836–843.

Ebaya MM, Ali AI, El-Haliem HA, El-Sayed ME. Color stability and surface roughness of ormocer- versus methacrylate-based single-shade composite in anterior restoration. *BMC Oral Health*. 2022;22:430. doi: 10.1186/s12903-022-02423-8.

El-Rashidy AA, Shaalan O, Abdelraouf RM, Habib NA. Effect of immersion and thermocycling in different beverages on the surface roughness of single-and multi-shade resin composites. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):1–8.

Fan J, Xu Y, Si L, Li X, Fu B, Hannig M. Long-term clinical performance of composite resin or ceramic inlays, onlays, and overlays: A systematic review and meta-analysis. *Oper Dent*. 2021;46(1):25–44. doi: 10.2341/19-107-LIT.

Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dent Mater*. 2011;27(1):29–38.

Ferracane JL, Hilton TJ, Stansbury JW, Watts DC, Silikas N, Ilie N, et al. Academy of dental materials guidance—resin composites: part II—Technique sensitivity (handling, polymerization, dimensional changes). *Dent Mater*. 2017;33(11):1171–91.

Garcia RM, Vieira Junior WF, Sobral-Souza DF, Aguiar FHB, Lima DANL. Characterization of whitening toothpastes and their effect on the physical properties of bulk-fill composites. *J Appl Oral Sci*. 2023;31:e20220428. doi: 10.1590/1678-7757-2022-0428.

Gatica EP, Ojeda GD, Wendler M. Contemporary flowable bulk-fill resin-based composites: a systematic review. *Biomater Investig Dent*. 2023 Feb 22;10(1):8–19. doi: 10.1080/26415275.2023.2175685.

Gaviria-Martinez A, Castro-Ramirez L, Ladera-Castañeda M, Cervantes-Ganoza L, Cachay-Criado H, Alvino-Vales M, et al. Surface roughness and oxygen-inhibited layer control in bulk-fill and conventional nanohybrid resin composites with and without polishing: in vitro study. *BMC Oral Health*. 2022 Jun 26;22(1):1297. doi: 10.1186/s12903-022-02297-w.

Gehlot PM, Sudeep P, Manjunath V, Annapoorna BM, Prasada LK, Nandlal B. Influence of Various Desensitizing Mouthrinses and Simulated Toothbrushing on

Surface Roughness and Microhardness of Tetric N-Ceram Bulk-Fill Resin Composite: An In Vitro Study and Scanning Electron Microscope Analysis. *Eur J Dent.* 2022;16:820–827. doi:10.1055/s-0041-1739547.

Gu S, Rasimick BJ, Deutsch AS, Musikant BL. Radiopacity of dental materials using a digital X-ray system. *Dent Mater.* 2006;22:765–70. doi: 10.1016/j.dental.2005.11.004.

Gündoğdu C, Akgül S. Radiopacity evaluation of different types of resin restorative materials using a digital radiography system. *Oral Radiol.* 2023 Mar 15. doi: 10.1007/s11282-023-00679-6.

Heintze S, Forjanic M, Ohmiti K, Rousson V. Surface deterioration of dental materials after simulated toothbrushing in relation to brushing time and load. *Dent Mater.* 2010;26(4):306–19.

Hosney S, Kandil M, El-Mowafy O. Radiopacity of nonmetallic CAD/CAM restorative blocks. *Int J Prosthodont.* 2016;29(3):271–3.

Hosney S, Abouelseoud H, El-Mowafy O. Radiopacity of resin cements using digital radiography. *J Esthet Restor Dent.* 2017;29(3):215–21.

Ilie N. Accelerated versus slow in vitro aging methods and their impact on universal chromatic, urethane-based composites. *Materials.* 2023;16(6):2143. doi: 10.3390/ma16062143.

Ipek I, Bilge K. The effect of different liquids on the surface roughness and color stability of single shade and nanohybrid resin composites: An AFM and SEM analysis. *Microsc Res Tech.* 2024;87(9):2063-71. doi: 10.1002/jemt.24586.

ISO: 13116: 2014 (E). Dentistry-Test method for determining radiopacity of materials 2014. n.d.

ISO 4049: 2019 - Dentistry. Polymer-based restorative materials. Geneva: International Organization for Standardization; 2019.

ISO 4287 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile Method – Terms, definitions and surface texture parameters.

Jones CS, Billington RW, Pearson GJ. The in vivo perception of roughness of restorations. *Br Dent J*. 2004;196:42–45.

Josic U, D'Alessandro C, Miletic V, Maravic T, Mazzitelli C, Jacimovic J, Sorrentino R, Zarone F, Mancuso E, Delgado AH, Breschi L, Mazzoni A. Clinical longevity of direct and indirect posterior resin composite restorations: An updated systematic review and meta-analysis. *Dent Mater*. 2023;39(12):1085–1094. doi:10.1016/j.dental.2023.10.009.

Kim JB, Lee SY, Lee JM, Kim SH. Designing structural color patterns composed of colloidal arrays. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2019;11(16):14485–14509. doi:10.1021/acsami.8b21276.

Kopuz D, Erçin Ö. The radiographic evaluation of 11 different resin composites. *Odontology*. 2024;112:428–434. doi:10.1007/s10266-023-00854-5.

Korkut B, Türkmen C. Longevity of direct diastema closure and recontouring restorations with resin composites in maxillary anterior teeth: a 4-year clinical evaluation. *J Esthet Restor Dent*. 2020 Dec 23;33(4):590-604. doi:10.1111/jerd.12697.

Menezes AJ de O, Barbosa L do N, Leite JVC, Barbosa LMM, Montenegro RV, Fernandes RV, Souza GM de, Andrade AKM de, Lima RBW. Clinical Outcomes of Bulk-Fill Resin Composite Restorations: A 10-Year Mapping Review and Evidence Gap Map. *J Esthet Restor Dent*. 2024;0:1–14. doi:10.1111/jerd.13339.

Miletic V, Jakovljevic N, Manojlovic D, Marjanovic J, Rosic AA, Dramićanin MD. Refractive indices of unfilled resin mixtures and cured composites related to color and translucency of conventional and low-shrinkage composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2017;105(1):7–13.

Nithya K, Sridevi K, Keerthi V, Ravishankar P. Evaluation of surface roughness, hardness, and gloss of composites after three different finishing and polishing techniques: an in vitro study. *Cureus*. 2020;12(2):e7037. doi:10.7759/cureus.7037.

Oliveira HLQ, Ribeiro MTH, Oliveira G, Peres TS, Bragança GF, Silva GR, Soares CJ. Mechanical and optical characterization of single-shade resin composites used in posterior teeth. *Oper Dent*. 2024;49(2):210–221. doi: 10.2341/22-112-L.

Osiewicz MA, Werner A, Roeters FJM, Kleverlaan CJ. Wear of bulk-fill resin composites. *Dent Mater*. 2022 Mar;38(3):549–553. doi: 10.1016/j.dental.2021.12.138.

Paolone G, Scolavino S, Gherlone E, Spagnuolo G, Cantatore G. The “Pre Finishing” Approach in Direct Anterior Restorations. A Case Series *Dent J (Basel)*. 2021;9(7):79.

Pedrosa RF, et al. Influence of materials radiopacity in the radiographic diagnosis of secondary caries: evaluation in film and two digital systems. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2011;40(6):344–350.

Pekkan G, Ozcan M. Radiopacity of different resin-based and conventional luting cements compared to human and bovine teeth. *Dent Mater J*. 2012;31(1):68–75.

Pekkan G. Radiopacity of dental materials: an overview. *Avicenna J Dental Res*. 2016;8(2):8–8.

Pietrokovski Y, Zeituni D, Schwartz A, Beyth N. Comparison of different finishing and polishing systems on surface roughness and bacterial adhesion of resin composite. *Mater (Basel)*. 2022;15(21):7415. doi: 10.3390/ma15217415.

Ralf J. *Dental Resins-Material Science & Technology: Advanced Level*. 3rd ed. tredition GmbH, 2021.

Ramírez-Vargas GG, Ladera-Castañeda M, López-Gurreonero C, Cornejo-Pinto A, Cachay-Criado H, Cervantes-Ganoza LA, et al. Surface roughness in nanoparticle resin composites subjected to two polishing systems: an in vitro comparative study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2023 Feb;13(2):114. doi: 10.4103/jispcd.jispcd_279_21.

Reis A, Loguercio A. *Materiais Dentários Diretos - Dos Fundamentos à Aplicação Clínica*. 2nd ed. Grupo GEN; 2021.

Rodolpho PAD, Rodolfo B, Collares K, Correa MB, Demarco FF, Opdam NJM, Cenci MS, Moraes RR. Clinical performance of posterior resin composite restorations after up to 33 years. *Dent Mater*. 2022;38(4):680–688. doi: 10.1016/j.dental.2022.02.009.

Rohym S, Tawfeek HEM, Kamh R. Effect of coffee on color stability and surface roughness of newly introduced single shade resin composite materials. *BMC Oral Health*. 2023;23:236. doi: 10.1186/s12903-023-02942-y.

Rosado L, Münchow E, Oliveira E de, Lacerda-Santos R, Freitas D, Carlo H, Verner F. Translucency and Radiopacity of Dental Resin Composites – Is There a Direct Relation? *Oper Dent*. 2023 Apr 20;48(3):E61–E69. doi: 10.2341/22-056-L.

Sang EJ, Song JS, Chung SH, Jin BH, Hyun HK. Influence of a new polishing system on changes in gloss and surface roughness of resin composites after polishing and brushing. *Dent Mater J*. 2021;40(3):727–735. doi: 10.4012/dmj.2020-207.

Sanchez NP, Powers JM, Paravina RD. Instrumental and visual evaluation of the color adjustment potential of resin composites. *J Esthet Restor Dent*. 2019 May 16;31(5):465–470. doi: 10.1111/jerd.12488.

Scotti N, Miletto I, Scansetti M, et al. One-shade resin composite: A review of clinical and laboratory performance. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(4):349–357.

Suh YR, Ahn JS, Ju SW, Kim KM. Influences of filler content and size on the color adjustment potential of nonlayered resin composites. *Dent Mater J*. 2017;36(1):35–40.

Tărăboanță I, Buhăteț D, Brînză Conciță CA, Andrian S, Nica I, Tărăboanță-Gamen AC, Brânzan R, Stoleriu S. Evaluation of the Surface Roughness of Bulk-Fill Composite Resins after Submission to Acidic and Abrasive Aggressions. *Biomedicines*. 2022;10(5):1008. doi: 10.3390/biomedicines10051008.

Vaz BAS, Lima RBW, Andrade AKM de, Meireles SS, Silva FDSCM, Barbosa LMM, Santos JV do N, Macedo Neto HN, Duarte RM. Evaluation of surface roughness of restorative dental composites: influence of depth cure, time and

storage medium. RSD [Internet]. 2021 Aug. 24 [cited 2024 Nov. 10];10(11):e85101119323.

Xu X, Qiu P, Sun M, Luo J, Yu P, He L, Li J. Multifunctional epoxy resin-based composites with excellent flexural strength and X-ray imaging capacity using micro/nano structured QF-Bi₂SiO₅ fillers. *J Mater Chem B*. 2023;11:640–7.

Yeung AWK. The Diagnostic Relevance and Interfaces Covered by Mach Band Effect in Dentistry: An Analysis of the Literature. *Healthcare*. 2022. MDPI.

Yoshida M, Yoshihara H, Honda E. History of digital detectors in intraoral radiography. *Dent Health Curr Res*. 2018;4:2. doi: 10.4172/2470-0886.10000135.

Yu P, Yang S, Xu Y, Wang X. Surface roughness and gloss alteration of polished resin composites with various filler types after simulated toothbrush abrasion. *J Dent Sci*. 2023 Jul;18(3):1016–1022. doi: 10.1016/j.jds.2022.12.004.

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