

Artigo de Revisão de Literatura
Literature Review Article

Propriedades mecânicas das resinas *bulk-fill*: revisão de literatura

Mechanical properties of bulk-fill composites: literature review

Gabriela de Oliveira Silva¹
Nathalia França de Freitas¹
Ruchele Dias Nogueira^{1, 2}
Cesar Penazzo Lepri^{1, 2}
Vinícius Rangel Geraldo-Martins^{1, 2}

Autor para correspondência:

Vinícius Rangel Geraldo-Martins
Universidade de Uberaba
Mestrado em Odontologia –
Av. Nene Sabino, n. 1801, sala 2D04 – Bairro Universitário
CEP 38055-500 – Uberaba – MG – Brasil
E-mail: vinicius.martins@uniube.br

¹ Curso de Odontologia, Universidade de Uberaba – Uberaba – MG – Brasil.

² Mestrado em Odontologia, Universidade de Uberaba – Uberaba – MG – Brasil.

Data de recebimento: 4 jul. 2022. Data de aceite: 31 jan. 2023.

Palavras-chave:

resina composta;
bulk-fill; resistência;
desgaste; dureza;
rugosidade.

Resumo

Introdução: Na odontologia restauradora, a resina composta ganhou espaço e é o material restaurador direto de primeira escolha. Apesar disso, ainda apresenta pontos que tornam a sua utilização mais complexa. As resinas compostas *bulk-fill* foram desenvolvidas para agilizar e facilitar o processo, já que permitem o preenchimento da cavidade com incrementos maiores, o que reduz o tempo clínico, melhora a eficiência operacional e reduz a tensão de contração de polimerização. **Objetivo:** Realizar uma revisão de literatura sobre as propriedades mecânicas das resinas compostas *bulk-fill*. **Revisão da literatura:** A busca bibliográfica foi feita nas bases de dados PubMed e SciELO (artigos publicados entre 2014 e 2022) com as seguintes palavras-chave: “resin composite” (resina composta), “bulk-fill, strength” (resistência), “wear” (desgaste), “toughness” (dureza) e “roughness” (rugosidade). Selecionaram-se os artigos que mais

apresentaram relevância com o tema abordado. **Discussão:** Os resultados mostraram que incrementos de até 4,0 mm são efetivamente polimerizados, contribuindo assim para a diminuição das tensões de polimerização. Como vantagens, há facilidade de manipulação e menor tempo clínico para a execução das restaurações. **Conclusão:** Cada material possui propriedades diferentes, de acordo com os componentes utilizados pelo fabricante. Porém mais pesquisas são necessárias para analisar seus resultados a longo prazo, para que o clínico possa mudar com segurança de uma técnica de inserção incremental tradicional para o método de preenchimento único.

Keywords:

resin composite; bulk-fill; strength; wear; toughness; roughness.

Abstract

Introduction: In restorative dentistry, composites have gained space and are the direct restorative material of first choice. Despite this, it still has points that make its use more complex, such as the technical sensitivity of the restorative procedure. Bulk-fill composites were developed to speed up and facilitate this process, as their use allows filling the cavity in larger increments, which reduces clinical time, improves operational efficiency and reduces polymerization shrinkage stress. **Objective:** Thus, the objective of this work was to carry out a literature review on the mechanical properties of bulk-fill composite resins. **Literature review:** The bibliographic search was carried out in PubMed and SciELO databases (articles published between 2014 and 2022), using the following keywords: resin composite, bulk-fill, strength, wear, toughness (hardness) and roughness. The articles that were most relevant to the topic addressed were selected and discussed. **Discussion:** The results obtained based on the selected articles concluded that increments of up to 4.0 mm are effectively polymerized, thus contributing to the reduction of polymerization stresses. As advantages, they present ease of manipulation and shorter clinical time for the execution of restorations. **Conclusion:** It was observed that the properties of each material show differences, according to the components used for each manufacturer. However, more research is needed to analyze its long-term results so that the clinician can safely switch from a traditional incremental insertion technique to the bulk-fill method.

Introdução

A constante busca pela estética, modernização e otimização do tempo em diferentes processos faz com que cada vez mais estejam disponíveis no mercado produtos de alta qualidade que buscam desempenhar com excelência esses papéis. Na odontologia restauradora, as resinas compostas cumprem tal função de maneira satisfatória, porém ainda podem apresentar algumas falhas. As restaurações dentárias diretas devem resistir à carga oclusal, minimizar ou prevenir o desenvolvimento de estresse e evitar a formação de lacunas, ser estáveis em ambientes bucais e fáceis de usar. De

preferência, essas restaurações também devem dificultar a retenção de biofilme, apresentar resistência à desmineralização e possibilitar seu reparo [3]. Porém, até o momento, nenhum material comercialmente disponível é capaz de atender a todos esses requisitos de uma só vez.

Uma das principais desvantagens das resinas compostas em comparação com outros materiais de uso direto, como o amálgama, é a sensibilidade técnica do procedimento restaurador, pois a restauração com compósitos exige o preparo do substrato dental mediante aplicação de um sistema adesivo, que envolve muitas etapas e possibilita diversas oportunidades de erro para

o operador. Ademais, em virtude da absorção e dispersão de luz, os compósitos de resina podem ser polimerizados em uma profundidade limitada [16]. Estudos anteriores sugerem que o máximo de espessura do incremento deve ser de 2 mm para haver uma adequada polimerização da resina que está colocada no interior da cavidade [23, 24]. Dessa forma, as resinas compostas precisam ser colocadas em cavidades profundas em camadas, já que, além de a profundidade de polimerização ser limitada, também há risco do aumento da tensão de contração da polimerização, logo, o uso de tal técnica, chamada de “técnica incremental”, requer vários ciclos de fotoativação, o que aumenta o tempo clínico [18].

As resinas compostas *bulk-fill* foram desenvolvidas para agilizar e facilitar esse procedimento, uma vez que permitem que os cirurgiões-dentistas usem camadas mais espessas do material, em incrementos de até 4,0 mm [5, 19]. Os compósitos de resina *bulk-fill* possuem maior reatividade à luz do que a maioria dos compósitos convencionais, graças à sua maior translucidez, o que facilita a penetração da luz e permite a cura da resina em uma profundidade maior [24].

Logo, a resina *bulk-fill* apresenta inúmeras vantagens clínicas. O preenchimento da cavidade com incrementos maiores pode não apenas reduzir significativamente o tempo de operação na cadeira e melhorar a eficiência operacional, como também reduzir a tensão de contração de polimerização e a microinfiltração. Isso possibilita, também, a redução da ocorrência de cáries secundárias, podendo levar ao aumento da longevidade da restauração [12, 43].

No entanto, em termos de propriedades mecânicas e outros aspectos, em comparação com os materiais de resina composta tradicional, a resina *bulk-fill* ainda tem algumas deficiências. Nos dentes posteriores, como há maior força oclusal, a cobertura com resina composta tradicional às vezes é necessária para melhorar as propriedades mecânicas do material, para evitar que o material frature e forme fendas nas bordas [33]. Ao mesmo tempo, em termos de desempenho estético, as resinas *bulk-fill* são mais propensas a alteração de cor do que os materiais de resina composta tradicional; as cores disponíveis também são limitadas, podendo não atender pacientes com altas exigências estéticas [7].

Ao usar resina *bulk-fill* para restaurar o tecido dentário, a escolha da cor e a translucidez do material podem afetar o sucesso da restauração, do ponto de vista estético. Em virtude da baixa quantidade de partículas de carga das resinas

bulk-fill fluidas, em comparação com as resinas compostas micro-híbridas tradicionais, elas não apresentam estética satisfatória, menor resistência à abrasão, rugosidade superficial aumentada e dificuldade para polimento. Por isso, essas resinas estão sendo mais utilizadas para reparos de restaurações em que a estética não é fator primordial. Para reparos com requisitos estéticos elevados, recomendam-se uma camada interna da resina *bulk-fill* fluida e resina composta tradicional para a camada externa, para obter melhores características de cor e polimento [10].

Em suma, para que um clínico mude com segurança de uma técnica de inserção incremental tradicional para o método de preenchimento único, devem ser realizados ensaios clínicos e estudos laboratoriais confiáveis comparando as características dos materiais aplicados clinicamente [37]. Dessa maneira, com a tendência cada vez maior de seu uso, os estudos acerca das resinas *bulk-fill* vêm crescendo nos últimos anos. Logo, é necessário que as propriedades desses materiais sejam discutidas a fim de orientar o cirurgião-dentista quanto à sua utilização.

O objetivo deste trabalho foi discutir, por meio de revisão bibliográfica, as propriedades mecânicas das resinas compostas *bulk-fill*, a fim de fornecer uma visão geral da literatura sobre os compostos atualmente disponíveis.

Revisão da literatura

O presente trabalho realizou uma revisão de literatura baseada em artigos científicos publicados entre 2014 e 2022 sobre as propriedades mecânicas das resinas *bulk-fill*. Utilizaram-se as bases de dados PubMed e SciELO. A busca foi feita com as seguintes palavras-chave: “resin composite” (resina composta), “bulk-fill, strength” (resistência), “wear” (desgaste), “toughness” (dureza) e “roughness” (rugosidade). Foram selecionados e discutidos os artigos que mais apresentaram relevância com o tema abordado.

Discussão

Resistência ao desgaste

A crescente realização de restaurações diretas de resina composta em dentes posteriores tem impulsionado o desenvolvimento de novos materiais, que tem por objetivo melhorar o desempenho clínico das restaurações. Hoje sabe-se que o desgaste das

resinas compostas é um dos principais motivos das fraturas encontradas em restaurações em dentes posteriores, sendo esse desgaste causado, principalmente, pelas forças mecânicas (mastigação, bruxismo e apertamento dental) e desafios químicos (consumo de alimentos ácidos) que ocorrem constantemente na cavidade oral [42].

Como a força oclusal excessiva pode levar, além do desgaste, à alteração da rugosidade superficial, à fratura das margens e à perda da anatomia da restauração, a resistência ao desgaste de uma resina composta é fundamental para promover a estabilidade a longo prazo das restaurações [2, 36]. Por tal razão, a resistência ao desgaste de um material restaurador deve ser, idealmente, semelhante à dos dentes naturais [42].

Define-se desgaste como a perda progressiva de substância resultante da interação mecânica entre duas superfícies em contato e que estão em movimento, e a magnitude do desgaste depende da estrutura, da superfície das condições de interação e do ambiente em que esses materiais estão inseridos [44]. Propuseram-se dois mecanismos principais de avaliação do desgaste de compósitos. O primeiro modo é o desgaste de dois corpos baseado em contato direto da restauração com a cúspide antagonista ou com superfícies proximais do esmalte adjacente, a fim de mimetizar a alta força que incide em uma pequena área de contato. Isso simula os altos níveis de força exercida pela cúspide antagonista ou as forças transferidas para as superfícies proximais. O segundo modo é o desgaste de três corpos, representados pelos dentes, restauração e alimento, que simula a perda de material durante a mastigação [42].

De maneira geral, o grau de desgaste das resinas compostas está amplamente relacionado ao tamanho e ao volume das partículas de carga e sua distribuição no compósito, às propriedades da matriz resinosa, ao grau de conversão e qualidade da união entre a matriz e a carga [31]. As resinas *bulk-fill* fluidas possuem menor teor de carga, portanto, têm menor resistência ao desgaste, maior rugosidade da superfície e propriedades de polimento inferiores em comparação com as resinas compostas convencionais [45]. Por esse motivo, estudos sugerem que resinas compostas *bulk-fill flow* não devem ser utilizadas para preencher toda a cavidade, mas sim apenas para realizar uma base cavitária, e a restauração precisa ser finalizada com uma resina convencional [31, 44, 45].

Somente os compósitos do tipo *flow* exigem que a base do *bulk-fill* seja coberta com um compósito convencional, já os *bulk-fill* mais viscosos são mais

resistentes ao desgaste e podem ser colocados na cavidade sem nenhuma cobertura [3]. Asadian *et al.* [4] verificaram que o desgaste e a rugosidade superficial dos compósitos *bulk-fill* estão na faixa aceitável e não diferem dos compósitos convencionais.

Existem vários fatores que afetam o resultado da restauração e, conseqüentemente, sua longevidade. Um incremento de resina *bulk-fill* que não é bem polimerizado não atinge um grau de conversão satisfatório e, por conseguinte, tem sua dureza reduzida, o que o torna mais propenso ao desgaste [40]. Um alto valor de dureza de um material restaurador está diretamente relacionado à durabilidade da restauração, pois proporciona maior resistência ao desgaste [14]. Sendo assim, novos estudos são necessários para avaliar a relação de diferentes fatores com o desgaste das resinas *bulk-fill* para que o cirurgião-dentista saiba como trabalhar com esse material da melhor forma, prolongando a vida útil da restauração.

Rugosidade

As restaurações devem ser capazes de manter sua textura superficial e suavidade dentro do meio bucal. A rugosidade está relacionada às irregularidades e geralmente é avaliada como rugosidade média (R_m), que é definida como o valor aritmético médio de todas as distâncias absolutas do perfil dentro do comprimento medido. Uma superfície lisa melhora a longevidade da restauração, reduzindo a retenção de biofilme, inflamação gengival e lesões de cárie recorrentes [29]. Além disso, a rugosidade da superfície de uma restauração influencia não apenas a colonização bacteriana, como também a estabilidade de cor e a estética em geral [15]. Ações mecânicas como mastigar, escovar os dentes, apertamento e bruxismo também podem afetar as características da superfície do material restaurador [28, 30].

Uma superfície pouco rugosa aumenta o conforto do paciente, uma vez que uma mudança na rugosidade da superfície de $0,3 \mu\text{m}$ pode ser detectada pela ponta da língua, gerando desconforto [26]. O tamanho das partículas de carga, dureza e distribuição no compósito, juntamente com os agentes abrasivos usados para acabamento e polimento, determinarão as características finais da superfície das restaurações [29]. Quanto maior o tamanho das cargas perdidas no processo de desgaste por abrasão, mais a rugosidade da superfície aumenta, contribuindo para a descoloração da superfície dos compósitos. A adsorção do pigmento é maior em superfícies

mais rugosas, resultando em mudança de cor ao longo do tempo [4]. Assim, técnicas adequadas de acabamento e polimento desempenham um papel significativo na manutenção do brilho e na longevidade das restaurações.

A rugosidade está relacionada às irregularidades e geralmente é avaliada como rugosidade média (R_m), que é definida como o valor aritmético médio de todas as distâncias absolutas do perfil dentro do comprimento medido. Como o objetivo de um procedimento de acabamento/polimento é fornecer superfícies semelhantes ao esmalte, idealmente a rugosidade final do compósito deve ser semelhante ao contato esmalte-esmalte nas áreas oclusais [32]. Alguns estudos relataram que a rugosidade da superfície dos compósitos está mais intimamente relacionada à composição do material do que o sistema de polimento utilizado e que um sistema de polimento específico pode não ter o mesmo desempenho com todas as resinas compostas [38, 41].

O polimento de um compósito é um procedimento difícil em virtude da natureza heterogênea do material. O efeito geral de um sistema de acabamento e polimento na rugosidade da superfície é amplamente dependente tanto do sistema de polimento quanto do material restaurador [17]. Relatou-se que não só a rugosidade, como também o brilho depende fortemente do tempo de polimento, da força de aplicação e da direção na qual o agente abrasivo é aplicado [21, 34].

Embora as formulações *bulk-fill* sejam consideradas principalmente para aplicações em dentes posteriores, é indispensável manter as características estéticas básicas da resina. Os materiais compósitos *bulk-fill*, por causa da necessidade de redução da contração de polimerização, muitas vezes contêm partículas grandes e irregulares de carga em sua estrutura, o que pode produzir um compósito menos polido em comparação aos compósitos convencionais. No entanto estudos comparando a rugosidade de *bulk-fill* e compósitos convencionais são muito limitados [17].

Atualmente, não há consenso na literatura sobre os instrumentos de acabamento e polimento recomendados para cada tipo de resina composta. Como existem diversos protocolos e diferentes opções de resinas *bulk-fill* no mercado, é importante descobrir se esses materiais podem alcançar resultados compatíveis aos dos compósitos tradicionais e quais protocolos seguir para minimizar efeitos negativos.

Dureza

As propriedades mecânicas de um biomaterial devem ser as mesmas ou próximas daquelas do esmalte e da dentina para que ele possa se deformar sincronicamente com o tecido duro do dente quando submetido às forças mastigatórias, a fim de reduzir o estresse da interface dente-restauração e prolongar a vida útil do material [27, 45]. Dureza é a propriedade de uma superfície sólida de resistir a endentações. A microdureza do compósito de resina depende de vários fatores, como a composição da matriz orgânica, juntamente com o tipo e a forma das partículas de carga. A dureza superficial em resinas compostas está diretamente relacionada às concentrações de partículas de carga [29].

A literatura atual já evidenciou que vários parâmetros podem afetar o grau de polimerização e, por consequência, a dureza dos compósitos *bulk-fill*, como sua composição (fotoiniciadores, cargas e matriz orgânica), as características técnicas do fotopolimerizador (intensidade da luz, comprimento de onda, diâmetro da ponta) e as condições de fotopolimerização (modo de cura e tempo de exposição), o período pós-irradiação, a temperatura e a espessura do incremento do material [25, 39].

Quanto mais próxima a ponta do equipamento de fotoativação estiver da superfície da resina composta, maior será a dureza da restauração. Quando isso não for possível clinicamente, deve-se compensar a distância da fonte de luz com o tempo de fotoativação: 2,0 mm/40s e 4,0 mm/60s [6]. Valores inadequados de microdureza podem levar a complicações clínicas, incluindo desgaste acelerado, fraturas de restaurações e lesões de cárie secundárias [13, 20]. O tipo de partícula carga das resinas compostas determina grandemente suas propriedades mecânicas e físicas. Medir a dureza da superfície pode dar uma indicação do grau de conversão e, conseqüentemente, do desempenho clínico do material após o envelhecimento [22].

Estudos mostram que a dureza dos compósitos resinosos, inclusive os *bulk-fill*, com o tempo sofrerá degradação vinda de diferentes fontes. Em seu trabalho, Camassari *et al.* [9] concluíram que a degradação do biofilme por *S. mutans* causou uma diminuição significativa na dureza de todos os materiais analisados. Existe uma grande possibilidade de que os grupos funcionais -OH e -CHOO dos ácidos produzidos pelas bactérias formem ligações de hidrogênio com o lado polar do monômero metacrilato dos compósitos, causando maior absorção de água e amolecimento da matriz resinosa. Tal fato induz tensão na interface matriz-

silano-carga, separando as cargas inorgânicas da matriz orgânica, o que promove redução da dureza. Da mesma forma, Colombo *et al.* [11] perceberam que, conforme relatado por outros autores, a degradação da rede polimérica dos compósitos e a queda do *filler* em decorrência da ação contínua de bebidas ácidas são responsáveis pela perda de microdureza dos compósitos com o passar do tempo.

A literatura não é conclusiva a respeito dos efeitos do ambiente externo sobre a resina *bulk-fill*. Observou-se que bebidas ácidas, como refrigerante e sucos de fruta, alteram a rugosidade superficial e diminuem a dureza de resinas *bulk-fill* [8]. Por outro lado, Alencar *et al.* [1] concluíram que, de maneira geral, os compósitos nanoparticulados e *bulk-fill* são resistentes à degradação do ácido clorídrico e cítrico, após um período de imersão de sete dias, uma vez que as propriedades mecânicas desses compósitos resinosos não foram negativamente afetadas pelo desafio ácido. No entanto mais pesquisas examinando os efeitos intraorais são necessárias para confirmar esses resultados *in vitro*.

Apesar da conveniência das resinas *bulk-fill*, a seleção criteriosa do material é recomendada porque algumas marcas comerciais apresentam menor dureza superficial e maior contração de polimerização do que as resinas convencionais, em virtude do seu menor conteúdo de carga [35]. Somado a isso, o conhecimento do paciente sobre a importância da higiene bucal é essencial para a manutenção da estética e longevidade das restaurações em resina composta [9]. Estudos futuros devem ser desenvolvidos para investigar outros possíveis fatores, como a escovação mecânica e diferentes fontes de fotopolimerização, nas propriedades desse tipo de compósito.

Sendo assim, após a revisão de literatura, percebeu-se que a resina *bulk-fill* cumpre com sua proposta, podendo ser inserida na cavidade em incrementos de até 4,0 mm, mostrando um bom desempenho em cavidades extensas presentes em dentes posteriores. Contudo mais pesquisas são necessárias a fim de conhecer melhor suas características físicas, mecânicas e analisar seus resultados a longo prazo para que o clínico possa escolher com segurança uma técnica restauradora de preenchimento único.

Conclusão

- Após a revisão da literatura, concluiu-se que:
- As diferentes marcas comerciais dos compósitos *bulk-fill* possuem diferenças em sua composição, o que altera suas propriedades mecânicas e físicas entre si. Diante disso, o cirurgião-dentista precisa estar atento no momento do atendimento e conhecer as características do material selecionado, a fim de que consiga atender da melhor maneira a cada situação clínica particular;
 - De maneira geral, as resinas *bulk-fill* apresentam polimento inferior e uma dureza reduzida quando comparadas às resinas nanoparticuladas convencionais;
 - Para a resistência ao desgaste notou-se que as resinas *bulk-fill* mais viscosas são mais resistentes ao desgaste e podem ser colocadas na cavidade sem nenhuma cobertura, diferentemente de quando são apresentadas de forma fluida, que devem ser usadas somente como uma base;
 - As resinas *bulk-fill* podem ser usadas com segurança, pois são capazes de ser efetivamente polimerizadas na espessura de 4,0 mm, contribuindo assim para a diminuição das tensões de polimerização.

Referências

1. Alencar MF, Pereira MT, De-Moraes MDR, Santiago SL, Passos VF. The effects of intrinsic and extrinsic acids on nanofilled and bulk fill resin composites: roughness, surface hardness, and scanning electron microscopy analysis. *Microsc Res Tech.* 2020 Feb;83(2):202-7.
2. Alkhudhairy F. Wear resistance of bulk-fill composite resin restorative materials polymerized under different curing intensities. *J Contemp Dent Pract.* 2017 Jan 1;18(1):39-43.
3. Arbildo-Vega HI, Lapinska B, Panda S, Lamas-Lara C, Khan AS, Lukomska-Szymanska M. Clinical effectiveness of bulk-fill and conventional resin composite restorations: systematic review and meta-analysis. *Polymers (Basel).* 2020 Aug 10;12(8):1786.
4. Asadian F, Shahidi Z, Moradi Z. Evaluation of wear properties of four bulk-fill composites: attrition, erosion, and abrasion. *Biomed Res Int.* 2021 Nov 12;2021:8649616.

5. Bahbishi N, Mzain W, Badeeb B, Nassar HM. Color stability and micro-hardness of bulk-fill composite materials after exposure to common beverages. *Materials (Basel)*. 2020 Feb 9;13(3):787.
6. Barakah H. Effect of different curing times and distances on the microhardness of nanofilled resin-based composite restoration polymerized with high-intensity LED light curing units. *Saudi Dent J*. 2021 Dec;33(8):1035-41.
7. Barutçigil Ç, Barutçigil K, Özarslan MM, Dündar A, Yilmaz B. Color of bulk-fill composite resin restorative materials. *J Esthet Restor Dent*. 2018 Mar;30(2):E3-E8.
8. Borges MG, Soares CJ, Maia TS, Bicalho AA, Barbosa TP, Costa HL et al. Effect of acidic drinks on shade matching, surface topography, and mechanical properties of conventional and bulk-fill composite resins. *J Prosthet Dent*. 2019 May;121(5):868.e1-868.e8.
9. Camassari JR, Correr-Sobrinho L, Correr AB, Puppini-Rontani J, Stipp RN, Puppini-Rontani RM et al. Physical-mechanical properties of bulk fill composites submitted to biodegradation by *Streptococcus mutans*. *Braz Dent J*. 2020 Sep 4;31(4):431-9.
10. Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, Nixon P. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. *Br Dent J*. 2017 Mar 10;222(5):337-44.
11. Colombo M, Gallo S, Poggio C, Ricaldone V, Arciola CR, Scribante A. new resin-based bulk-fill composites: in vitro evaluation of micro-hardness and depth of cure as infection risk indexes. *Materials (Basel)*. 2020 Mar 13;13(6):1308.
12. Comba A, Scotti N, Maravić T, Mazzoni A, Carossa M, Breschi L et al. Vickers hardness and shrinkage stress evaluation of low and high viscosity bulk-fill resin composite. *Polymers (Basel)*. 2020 Jun 30;12(7):1477.
13. Daugherty MM, Lien W, Mansell MR, Risk DL, Savett DA, Vandewalle KS. Effect of high-intensity curing lights on the polymerization of bulk-fill composites. *Dent Mater*. 2018 Oct;34(10):1531-41.
14. Dias MF, Espíndola-Castro LF, Lins-Filho PC, Teixeira HM, Silva CH, Guimarães RP. Influence of different thermopolymerization methods on composite resin microhardness. *J Clin Exp Dent*. 2020 Apr 1;12(4):e335-e341.
15. Freitas F, Pinheiro de Melo T, Delgado AH, Monteiro P, Rua J, Proença L et al. Varying the polishing protocol influences the color stability and surface roughness of bulk-fill resin-based composites. *J Funct Biomater*. 2020 Dec 22;12(1):1.
16. Fugolin APP, Pfeifer CS. New resins for dental composites. *J Dent Res*. 2017 Sep;96(10):1085-91.
17. Granat M, Cieloszyk J, Kowalska U, Buczkowska-Radlińska J, Łagocka R. Surface geometry of four conventional nanohybrid resin-based composites and four regular viscosity bulk fill resin-based composites after two-step polishing procedure. *Biomed Res Int*. 2020 Aug 12;2020:6203053.
18. Gul P, Alp HH, Özcan M. Monomer release from bulk-fill composite resins in different curing protocols. *J Oral Sci*. 2020 Jun 23;62(3):288-92.
19. Haugen HJ, Marovic D, Par M, Thieu MKL, Reseland JE, Johnsen GF. Bulk fill composites have similar performance to conventional dental composites. *Int J Mol Sci*. 2020 Jul 20;21(14):5136.
20. Hasanain FA, Nassar HM, Ajaj RA. Effect of light curing distance on microhardness profiles of bulk-fill resin composites. *Polymers (Basel)*. 2022 Jan 28;14(3):528.
21. Ishii R, Takamizawa T, Tsujimoto A, Suzuki S, Imai A, Barkmeier WW et al. Effects of finishing and polishing methods on the surface roughness and surface free energy of bulk-fill resin composites. *Oper Dent*. 2020 Mar/Apr;45(2):E91-E104.
22. Jafarpour D, Ferooz R, Ferooz M, Bagheri R. Physical and mechanical properties of bulk-fill, conventional, and flowable resin composites stored dry and wet. *Int J Dent*. 2022 Feb 10;2022:7946239.
23. Karacolak G, Turkun LS, Boyacioglu H, Ferracane JL. Influence of increment thickness on radiant energy and microhardness of bulk-fill resin composites. *Dent Mater J*. 2018 Mar 30;37(2):206-13.
24. Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent*. 2014 Aug;42(8):993-1000.
25. Lima RBW, Troconis CCM, Moreno MBP, Murillo-Gómez F, Goes MF. Depth of cure of bulk fill resin composites: a systematic review. *J Esthet Restor Dent*. 2018 Nov;30(6):492-501.

26. Magdy NM, Kola MZ, Alqahtani HH, Alqahtani MD, Alghmlas AS. Evaluation of surface roughness of different direct resin-based composites. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2017 May-Jun;7(3):104-9.
27. Moharam LM, El-Hoshy AZ, Abou-Elenein K. The effect of different insertion techniques on the depth of cure and vickers surface micro-hardness of two bulk-fill resin composite materials. *J Clin Exp Dent.* 2017 Feb 1;9(2):e266-e271.
28. Naz F, Samad Khan A, Kader MA, Al Gelban LOS, Mousa NMA, Asiri RSH et al. Comparative evaluation of mechanical and physical properties of a new bulk-fill alkasite with conventional restorative materials. *Saudi Dent J.* 2021 Nov;33(7):666-73.
29. 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 Feb 19;12(2):e7037.
30. O'Neill C, Kreplak L, Rueggeberg FA, Labrie D, Shimokawa CAK, Price RB. Effect of tooth brushing on gloss retention and surface roughness of five bulk-fill resin composites. *J Esthet Restor Dent.* 2018 Jan;30(1):59-69.
31. Osiewicz MA, Werner A, Roeters FJM, Kleverlaan CJ. Wear of bulk-fill resin composites. *Dent Mater.* 2022 Mar;38(3):549-53.
32. Paolone G, Moratti E, Goracci C, Gherlone E, Vichi A. Effect of finishing systems on surface roughness and gloss of full-body bulk-fill resin composites. *Materials (Basel).* 2020 Dec 11;13(24):5657.
33. Papadogiannis D, Tolidis K, Gerasimou P, Lakes R, Papadogiannis Y. Viscoelastic properties, creep behavior and degree of conversion of bulk fill composite resins. *Dent Mater.* 2015 Dec;31(12):1533-41.
34. Parasher A, Ginjupalli K, Somayaji K, Kabbinala P. Comparative evaluation of the depth of cure and surface roughness of bulk-fill composites: an in vitro study. *Dent Med Probl.* 2020 Jan-Mar;57(1):39-44.
35. Par M, Repusic I, Skenderovic H, Milat O, Spajic J, Tarle Z. The effects of extended curing time and radiant energy on microhardness and temperature rise of conventional and bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig.* 2019 Oct;23(10):3777-88.
36. Poorzandpoush K, Omrani LR, Jafarnia SH, Golkar P, Atai M. Effect of addition of nano hydroxyapatite particles on wear of resin modified glass ionomer by tooth brushing simulation. *J Clin Exp Dent.* 2017 Mar 1;9(3):e372-e376.
37. Reis AF, Vestphal M, Amaral RCD, Rodrigues JA, Roulet JF, Roscoe MG. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review. *Braz Oral Res.* 2017 Aug 28;31(suppl 1):e59.
38. Rigo LC, Bordin D, Fardin VP, Coelho PG, Bromage TG, Reis A et al. Influence of polishing system on the surface roughness of flowable and regular-viscosity bulk fill composites. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2018 Jul/Aug;38(4):e79-e86.
39. Saati K, Khansari S, Mahdisiar F, Valizadeh S. Evaluation of microhardness of two bulk-fill composite resins compared to a conventional composite resin on surface and in different depths. *J Dent (Shiraz).* 2022 Mar;23(1):58-64.
40. Sahadi BO, Price RB, André CB, Sebold M, Bermejo GN, Palma-Dibb RG et al. Multiple-peak and single-peak dental curing lights comparison on the wear resistance of bulk-fill composites. *Braz Oral Res.* 2018 Dec 17;32:e122.
41. St-Pierre L, Martel C, Crépeau H, Vargas MA. Influence of polishing systems on surface roughness of composite resins: polishability of composite resins. *Oper Dent.* 2019 May/Jun;44(3):E122-E132.
42. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Fischer NG, Nojiri K, Nagura Y, Takamizawa T et al. Wear of resin composites: current insights into underlying mechanisms, evaluation methods and influential factors. *Jpn Dent Sci Rev.* 2018 May;54(2):76-87.
43. Van Dijken JW, Pallesen U. Posterior bulk-filled resin composite restorations: a 5-year randomized controlled clinical study. *J Dent.* 2016 Aug;51: 29-35.
44. Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-fill composites: a review of the current literature. *J Adhes Dent.* 2017;19(2):95-109.
45. Xue J. Factors influencing clinical application of bulk-fill composite resin. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2020 Jun 1;38(3):233-9.