

Artigo Original de Pesquisa
Original Research Article

Avaliação da microdureza Vickers superficial e profunda de resinas compostas utilizando diferentes aparelhos fotopolimerizadores

Evaluation of surface and deep Vickers microhardness of composite resins using different light-curing units

Thays Chalegre Ataíde¹
José Gabriel Bernardino da Silva Brito¹
Antonio José Tôrres Neto²
Hilcia Mezzalira Teixeira³
Renata Pedrosa Guimarães³
Alexandre Batista Nascimento Lopes do Nascimento³

Autor para correspondência:

Antonio José Tôrres Neto
Universidade Estadual de São Paulo, Instituto de Ciência e Tecnologia
Av. Eng. Francisco José Longo, n. 777 – Jardim São Dimas
CEP 12245-000 – São José dos Campos – SP – Brasil
E-mail: ajtn18@gmail.com

¹ Universidade Federal de Pernambuco – Recife – PE – Brasil.

² Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual de São Paulo – São José dos Campos – SP – Brasil.

³ Departamento de Prótese e Cirurgia Bucofacial, Universidade Federal de Pernambuco – Recife – PE – Brasil.

Data de recebimento: 24 out. 2024. Data de aceite: 31 mar. 2025.

Palavras-chave:

dureza; polimerização;
resinas compostas.

Resumo

Objetivo: Comparar, *in vitro*, a microdureza Vickers superficial e profunda entre duas resinas compostas, utilizando dois diferentes aparelhos fotopolimerizadores. **Material e métodos:** Foram utilizadas 80 amostras de resina composta, com diâmetro interno de 6 mm e espessura de 2 mm, distribuídas em 8 grupos de acordo com a superfície e o tipo de resina: Filtek Z350 XT™ nanoparticulada e NT Premium™ nano-híbrida, ambas na cor A2. Em cada quadrante realizaram-se três aferições de microdureza Vickers – endentador em forma de pirâmide de diamante de base quadrada, com um ângulo de 136° entre as faces opostas, aplicando-se uma carga de 50 gf, associada ao tempo de 45 s com o emprego do microdurômetro (HMV – 2T, Shimadzu, Japão). Os corpos de prova dos grupos G1S, G2P,

G7S e G8P foram fotopolimerizados com o Colt lux LED (Coltene), enquanto os dos grupos G3S, G4P, G5S e G6P foram fotopolimerizados com o Optilight Max (Gnatus), com potências de 850 mw/cm² e 773 mw/cm², respectivamente. **Resultados:** A microdureza superficial foi significativamente maior do que a profunda em ambas as resinas e para ambos os aparelhos fotopolimerizadores ($p < 0,001$). A resina Filtek Z350XT apresentou valores de dureza superiores aos da NT Premium. A microdureza é influenciada pela profundidade de polimerização, sendo maior na superfície em razão da maior intensidade de luz recebida. **Conclusão:** Para ambas as resinas compostas estudadas, as médias avaliadas da microdureza superficial foram correspondentemente mais elevadas do que da microdureza profunda, e a resina Filtek Z350XT evidenciou valores de dureza superiores aos da NT Premium. É necessário que se estabeleça um protocolo para a utilização do fotopolimerizador.

Keywords:

hardness;
polymerization;
composite resins.

Abstract

Objective: To compare, in vitro, the surface and deep Vickers microhardness between two composite resins using two different light-curing units. **Material and methods:** A total of 80 composite resin samples were used, with an internal diameter of 6 mm and a thickness of 2 mm, distributed into 8 groups according to the surface and type of resin: Filtek Z350 XT™ nanoparticulate and NT Premium™ nanohybrid, both in shade A2. Three Vickers microhardness measurements were performed in each quadrant using a diamond pyramid-shaped indenter with a square base and an angle of 136° between opposite faces, applying a load of 50 gf for 45 seconds with a microhardness tester (HMT – 2T, Shimadzu, Japan). The specimens in groups G1S, G2P, G7S, and G8P were polymerized with the Colt lux LED (Coltene), while those in groups G3S, G4P, G5S, and G6P were polymerized with the Optilight Max (Gnatus), with power outputs of 850 mW/cm² and 773 mW/cm², respectively. **Results:** Surface microhardness was significantly higher than deep microhardness for both resins and both light-curing units ($p < 0.001$). The Filtek Z350 XT resin showed higher hardness values than NT Premium. Microhardness is influenced by polymerization depth, being greater at the surface due to the higher intensity of received light. **Conclusion:** For both composite resins studied, the evaluated mean surface microhardness values were correspondingly higher than deep microhardness values. Additionally, the Filtek Z350 XT resin exhibited higher hardness values than NT Premium. It is necessary to establish a protocol for the use of the light-curing unit.

Introdução

Com o advento da estética na Odontologia, observa-se uma grande valorização na utilização das resinas compostas nos tratamentos odontológicos. Para garantir a longevidade das restaurações, devem-se levar em conta alguns requisitos, como planejamento adequado, seleção de materiais

apropriados, técnica de execução precisa, adaptação adequada à estrutura dental e manutenção regular [7, 8].

Em função da crescente evolução das resinas compostas e dos sistemas utilizados para ativar a reação de polimerização desses materiais, torna-se de extrema importância a realização de trabalhos de pesquisa que verifiquem as taxas de

polimerização rápidas e uniformes, além de menor calor gerado e maior durabilidade dos aparelhos fotopolimerizadores à base de LEDs, em comparação com os aparelhos tradicionais [2]. Existem algumas características que são fundamentais nos aparelhos fotoativadores para que aconteça uma completa transformação dos monômeros da resina composta em polímeros, fazendo, assim, com que a resina composta obtenha suas melhores propriedades mecânicas [6, 12-14, 16].

O sucesso da restauração está intimamente ligado à completa polimerização da resina composta, ou seja, ao processo de endurecimento do material mediante a aplicação de luz de uma fonte específica, como LED ou halógena, por um período adequado e com intensidade suficiente, pois, se o material não for polimerizado corretamente, terá uma diminuição das suas propriedades mecânicas, uma alteração na sua contração de polimerização, existência de monômeros residuais e uma diminuição de sua biocompatibilidade [8, 15, 18]. A polimerização insuficiente desses materiais está entre uma das principais causas de insucesso clínico [11, 13], sendo o aparelho fotoativador um instrumento de grande valor para a confecção de restaurações de resina composta [4, 11].

O teste de dureza para avaliação de profundidade de polimerização é o mais popular graças a sua simplicidade, sendo o mais utilizado para investigar os fatores envolvidos na profundidade de polimerização. Com base nessas considerações, a análise metodológica eleita para o presente estudo constituiu-se da microdureza Vickers, a qual se faz presente em diversos estudos [5, 14, 20, 21, 27]. A microdureza da superfície de uma resina composta proporciona uma superfície dura e resistente, prevenindo desgaste, erosão e acúmulo de placa bacteriana [4], sendo fundamental para as resinas

compostas nanoparticuladas e nano-híbridas, já que reflete a resistência e durabilidade da restauração, influenciando diretamente na sua longevidade e desempenho clínico [11].

Os aparelhos fotoativadores são indispensáveis para a realização de restaurações de resinas compostas [8, 11, 13, 26]. À medida que aparecem novos aparelhos fotoativadores no mercado, novas vantagens são apresentadas pelo fabricante, tornando-se importante avaliar se alterações, tais como a técnica de fotoativação utilizada, e diminuição do tempo de fotoativação dos compósitos não acarretariam variações em suas propriedades físico-mecânicas [8]. Portanto, este estudo teve como objetivo verificar a influência de dois aparelhos fotopolimerizadores, diodos emissores de luz azul (LEDs), por meio da avaliação da microdureza Vickers superficial e profunda de diferentes resinas compostas.

Hipótese nula testada: H_0 – não há diferença significativa entre a microdureza Vickers superficial e profunda das resinas compostas testadas.

Material e métodos

Uma parte do estudo foi desenvolvida nas instalações do Curso de Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e outra na Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto (USP).

Foram confeccionados 80 corpos de prova: em 40 amostras empregou-se a resina composta de nanopartícula Z350 XT (3M ESPE), nos grupos G1S, G2P, G3S, G4P, e nas outras 40 a resina nano-híbrida NT Premium (Coltene), nos grupos G5S, G6P, G7S, G8P, ambas na cor A2. Os corpos de prova foram distribuídos em 8 grupos experimentais, de acordo com a tabela I.

Tabela I - Grupos experimentais, abreviação, aparelho fotopolimerizador, tempo e composição das resinas compostas utilizadas

| Grupos | Abreviação | Aparelho fotopolimerizador | Tempo (s) | Composição da resina composta |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------|--|
| G1 superficial Z350 XT (3M ESPE) | G1S | LED Coltollux (Coltene) | 40" | Bis-GMA, TEGDMA, bisfenol A, polietilenoglicol, diéter dimetacrilato, UDMA, cerâmica silanizada tratada, sílica tratada de silano |
| G2 profunda Z350 XT (3M ESPE) | G2P | LED Coltollux (Coltene) | 40" | |
| G3 superficial Z350 XT (3M ESPE) | G3S | LED Optilight Max (Gnatus) | 40" | |
| G4 profunda Z350 XT (3M ESPE) | G4P | LED Optilight Max (Gnatus) | 40" | |

Continua...

Continuação da tabela 1

| Grupos | Abreviação | Aparelho fotopolimerizador | Tempo (s) | Composição da resina composta |
|--|------------|-------------------------------|-----------|--------------------------------------|
| G5 superficial NT Premium (Coltene) | G5S | LED Coltollux (Coltene) | 40" | |
| G6 profunda NT Premium (Coltene) | G6P | LED Coltollux (Coltene) | 40" | Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA, EDAb, |
| G7 superficial NT Premium (Coltene) | G7S | LED Optilight Max (Gnatus) | 40" | fotoiniciador, cargas e pigmentos |
| G8 profunda NT Premium (Coltene) | G8P | LED Optilight Max (Gnatus) | 40" | |

Com o objetivo de padronizar as amostras, confeccionou-se uma matriz de politetrafluoretileno (PTFE), com diâmetro interno de 6 mm e espessura de 2 mm. O orifício da matriz foi preenchido com um único incremento de resina composta. Uma tira de poliéster foi posicionada com leve pressão sobre a cavidade preenchida pela resina composta, para obter uma superfície plana e uniforme do material. Sobre a tira de poliéster posicionou-se uma laminula de vidro, com 1,2 mm de espessura, com o intuito de padronizar a distância da ponta do fotopolimerizador à superfície da resina composta posteriormente fotopolimerizada.

Todos os cuidados foram tomados para evitar a inclusão de bolhas de ar durante a inserção dos compósitos resinosos nas cavidades, a fim de facilitar o registro da microdureza superficial ou profunda. Essas amostras foram padronizadas e executadas por um único operador.

Anteriormente à polimerização, mediram-se e registraram-se as intensidades de luz dos aparelhos utilizando-se o radiômetro Curin Light Meter Hilux Ledmax, em que se obtiveram os seguintes valores: LED Coltollux – 850 mw/cm², LED Optilight Max – 773 mw/cm².

Os corpos de prova dos grupos G1S, G2P, G5S e G6P foram fotopolimerizados na matriz com o aparelho fotopolimerizador Coltollux LED (Coltene). Os grupos G3S, G4P, G7S e G8P foram fotopolimerizados na matriz com o aparelho fotopolimerizador LED Optilight Max (Gnatus). O tempo de fotopolimerização foi de 40 segundos, recomendado pelos fabricantes.

Os corpos de prova foram armazenados imersos em soro fisiológico, para simular as condições bucais reais, permitindo avaliar a estabilidade dimensional, a solubilidade e a degradação da resina composta em um ambiente aquoso, o que é essencial para prever o seu desempenho [8, 11, 15], e foram colocados em estufa a 37°C, por 24

horas, em recipientes plásticos à prova de luz, a fim de evitar uma sobre polimerização pela luz ambiente.

Decorrido esse tempo, cada superfície testada (superficial ou profunda) do mesmo corpo de prova foi delimitada em quatro partes iguais com auxílio de uma lâmina de bisturi n.º 15. Em cada quadrante realizaram-se três aferições de microdureza Vickers – endentador em forma de pirâmide de diamante de base quadrada, com um ângulo de 136° entre as faces opostas, aplicando-se uma carga de 50 gf, associada ao tempo de 45 s com o emprego do microdurômetro (HMV – 2T, Shimadzu, Japão), localizado no laboratório de ensaios mecânicos da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto (USP). Obteve-se o cálculo de microdureza Vickers de cada espécime considerando-se a média das 12 endentações realizadas.

Os resultados foram expressos por meio de percentuais e das medidas estatísticas: média, desvio padrão e coeficiente de variação. Para a comparação entre as categorias e as variáveis independentes (resinas e fotopolimerizadores) em relação às médias da dureza, recorreu-se aos seguintes testes estatísticos: t-Student com variâncias iguais, teste t-Student com variâncias desiguais na comparação de duas categorias e F (Anova) na comparação de duas categorias. Para a comparação entre as superfícies, utilizou-se o teste t-Student pareado. No caso de diferença significativa por intermédio do teste F (Anova), empregaram-se testes de comparações múltiplas (entre pares de fotopolimerizadores) de Tukey se a hipótese de igualdade de variâncias fosse verificada ou se a hipótese de variâncias fosse rejeitada. A margem de erro usada nas decisões dos testes estatísticos foi de 5%. Os dados foram digitados na planilha Excel, e o programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), versão 21, serviu para a obtenção dos cálculos estatísticos.

Resultados

Na tabela II estão dispostos os resultados da dureza segundo o fotopolimerizador, a resina e a superfície. Na tabela destaca-se que, em ambas as combinações de fotopolimerizadores e superfícies, as médias foram correspondentemente mais elevadas na resina Filtek Z350XT do que na resina NT Premium, diferenças que se mostraram significativas ($p < 0,001$). Em todas as combinações de fotopolimerizadores e resinas compostas, as médias avaliadas da microdureza superficial foram correspondentemente mais elevadas do que da microdureza profunda.

Tabela II – Estatística da dureza por fotopolimerizador e superfície avaliada segundo a resina utilizada

| Fotopolimerizador | Superfície avaliada | Resina | | Valor de p |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | | Filtek Z350 | NT Premium | |
| | | Média ± DP (CV%) | Média ± DP (CV%) | |
| | Valor de p | p⁽³⁾ = 0,001* | p⁽³⁾ = 0,489 | |
| LED Optilight Max (Gnatus) | Profunda | 67,90 ± 1,93 (2,84) | 37,89 ± 1,96 (5,17) | p ⁽²⁾ < 0,001* |
| | Superficial | 77,72 ± 3,69 (4,75) | 46,24 ± 4,23 (9,15) | p ⁽²⁾ < 0,001* |
| | Valor de p | p⁽³⁾ < 0,001* | p⁽³⁾ = 0,005* | |
| LED Coltolux (Coltene) | Profunda | 72,97 ± 6,45 (8,84) | 43,97 ± 2,10 (4,76) | p ⁽²⁾ < 0,001* |
| | Superficial | 83,07 ± 5,83 (7,02) | 46,84 ± 2,48 (5,29) | p ⁽¹⁾ < 0,001* |
| | Valor de p | p⁽³⁾ = 0,010* | p⁽³⁾ = 0,005* | |

(*): Diferença significativa ao nível de 5%; (1): por meio do teste t-Student, com variâncias desiguais; (2): por meio do teste t-Student, com variâncias iguais; (3): por meio do teste t-Student pareado

Discussão

O teste de dureza para avaliação de profundidade de polimerização é o mais popular graças a sua simplicidade, sendo o mais utilizado para investigar os fatores envolvidos na profundidade de polimerização. Com base nessas considerações, a análise metodológica eleita para o presente estudo constituiu-se da microdureza Vickers, a qual se faz presente em diversos estudos [5, 14, 19, 21, 27].

A propriedade microdureza é fortemente influenciada pela conversão monomérica [7] e também apresenta uma correlação positiva com o conteúdo inorgânico do compósito [8]. A menor dureza é relatada com uma pobre resistência ao desgaste [3, 22], promovendo uma menor durabilidade clínica das restaurações dentais [25]. O uso de aparelhos fotopolimerizadores com potência adequada é fundamental para obtenção da polimerização ideal [20, 21]. Por tal motivo, no presente estudo, teve-se a preocupação de aferir a intensidade da luz dos aparelhos antes de iniciar a confecção dos corpos de prova.

Para realizar uma adequada fotopolimerização, os aparelhos devem possuir irradiância mínima de 400 mW/cm² para ativar o fotoiniciador da resina

composta e dar início ao processo de conversão dos monômeros, presentes na matriz resinosa, em longas cadeias poliméricas [4]. Qualquer alteração nesse processo pode gerar redução no grau de conversão e, conseqüentemente, problemas relacionados às propriedades mecânicas das resinas compostas [20].

Uma adequada fotopolimerização depende de uma série de características: técnica de fotoativação, tempo, distância, intensidade da luz emitida [1, 10]. O nível de bateria dos aparelhos fotopolimerizadores [17] e cuidados com o filtro, lâmpadas e saída da luz também são fundamentais para garantir um bom desempenho clínico desses aparelhos. Alguns estudos apontam falta de orientação e falta de protocolos bem definidos para uma manutenção desses aparelhos, o que acaba gerando problemas na estabilidade das restaurações de resina composta [20].

Verheyen [28] e Mirsasaani *et al.* [16] relatam os fatores que têm importância na reação de polimerização, em ordem decrescente são: quantidade de energia liberada pela luz, restauração em incrementos de até 2 mm, tempo de exposição da luz e distância entre a luz e a resina composta. Por isso, neste estudo padronizaram-se incrementos de 2 mm de profundidade e também a distância entre

a luz e a resina composta. Para Becker *et al.* [5], a evolução das resinas compostas tem sido constatada na melhoria do seu comportamento estético e no aumento da sua dureza, que é a resistência oferecida pelos sólidos à penetração de uma ponta e pode ser indicativo indireto da resistência do material ao desgaste. Entretanto Conceição [7] relatou que a resina composta apresenta algumas propriedades: baixa contração de polimerização, sorção de água e coeficiente de expansão térmica semelhante ao dente; ser resistente ao desgaste; capacidade de obtenção de uma maior lisura superficial após o acabamento/polimento da restauração; maior grau de conversão. Além disso, deveria ainda apresentar estabilidade de cor e características ópticas, como opalescência e fluorescência, semelhantes às dos dentes naturais.

Uma das fontes de luz disponíveis no mercado como opção para fotopolimerizar materiais fotossensíveis sem os inconvenientes dos aparelhos de luz halógena é o LED. São fontes de luz no estado sólido, compostas pela combinação de diferentes semicondutores para emissão de luz azul. Conforme Price *et al.* [18], trata-se de uma tecnologia marcadamente diferente de uma lâmpada halógena, com a grande vantagem de que a energia luminosa se concentra em uma estreita faixa do espectro de luz visível, a qual coincide com espectro de absorção máxima da canforaquinona (468 nm). Essa característica torna os LEDs efetivos para a polimerização de materiais com fotoiniciadores de canforoquinona [19]. Souza Júnior *et al.* [25] relataram que aparelhos à base de LED possuem uma longa durabilidade e não emitem calor significativo, são silenciosos, necessitam de baixa voltagem e podem ser operados por baterias.

Os aparelhos LEDs, especialmente os de primeira geração que são baseados em um conjunto de LEDs, apresentam uma baixa densidade de potência (50-300 mW/cm²). Já os aparelhos LEDs mais recentes ou de alta potência têm sua intensidade a partir de 300 mW/cm² e possuem apenas um LED [13]. Todavia esse avanço tecnológico possibilitou uma redução no tempo de polimerização, podendo ser comparado com as lâmpadas halógenas de alta intensidade [28]. No presente estudo foram utilizados dois LEDs de segunda geração, Coltolux (Coltene) e Optilight Max (Gnatus), com potência de 850 mW/cm² e 773 mW/cm², respectivamente.

A intensidade de luz dos aparelhos fotoativadores influencia as propriedades mecânicas dos compósitos. Francis *et al.* [12], por meio de uma revisão sistemática, verificaram que, quanto maior a intensidade dos aparelhos, maior a microdureza

produzida nos compósitos, fato que corrobora com os achados da presente pesquisa. A profundidade de polimerização é um fator primordial para o sucesso clínico das restaurações de resina composta, assim como a microdureza é considerada uma propriedade física essencial para que haja um bom desempenho clínico das restaurações de resina composta [27].

Estudos como o de Tate *et al.* [26] e Choudhary e Suprabha [6] verificaram que, além da cor escura diminuir a transmissão de luz, outros fatores influenciam na dureza: a quantidade e o tamanho das partículas (partículas de 0,01 a 1 μ m reduzem a penetração de luz), a forma da cavidade e a distância entre a fonte e a superfície da restauração. Por tal razão, utilizou-se aqui a resina composta da cor A2, e os corpos de prova foram todos padronizados e as resinas escolhidas apresentam partículas nanométricas. Silveira *et al.* [23] demonstraram que a polimerização dos compósitos geralmente diminui da superfície para o interior da resina e que só a dureza da superfície não pode ser considerada um bom indicador de que a resina foi completamente polimerizada. Esses resultados corroboram o presente estudo, uma vez que todos os valores da microdureza superficial foram mais elevados em relação à microdureza profunda.

Segundo o fabricante, a resina composta nanoparticulada NT Premium (Coltene) é um material restaurador estético nanoparticulado (tamanho médio das partículas na faixa de 14-40 nm), possui em sua composição Bis-GMA, Bis EMA, TEGDMA, EDAB, fotoiniciador, cargas e pigmentos. O tamanho médio das partículas é 0,6 μ m, e seu percentual médio de cargas em peso é de 75% (65% em volume).

As resinas compostas de nanopartículas Filtek™ Z350 XT são constituídas por nanoaglomerados obtidos por um processo de sinterização. As partículas de carga desses compósitos são uma combinação de sílica, com tamanho de 20 nm não aglomerados / não agregados; zircônia, com tamanho de 4-11 nm não aglomerados / não agregados; e aglomerados de partículas agregadas de zircônia/sílica. A carga de partículas inorgânicas representa cerca de 78,5% por peso (63,3% em volume). De acordo com Silveira [23], a ocorrência de tais resultados pode ser em virtude da composição das partículas de carga das duas resinas; a resina composta Filtek™ Z350 XT possui maior quantidade de carga por peso em relação à resina composta NT Premium.

Os valores obtidos da microdureza superficial tanto da resina composta Filtek™ Z350 XT quanto

da resina composta NT Premium (Coltene) foram significativamente superiores em relação aos valores da microdureza profunda, corroborando os achados de Silveira *et al.* [24]. Tais resultados podem ser justificados porque a região superficial encontra-se mais próxima da ponta fotoativadora do aparelho, não havendo assim praticamente nenhuma interferência na transmissão de luz, a qual atinge a área superficial com a maior intensidade possível. Entretanto, na superfície profunda, a luz primeiramente atravessa todo o corpo da resina composta, sendo, então, parte absorvida ou refletida, atenuando a intensidade e reduzindo a efetividade da fotoativação e consequente polimerização nas porções mais profundas do material, acarretando assim um menor valor de microdureza Vickers.

A microdureza é um parâmetro importante para avaliar a qualidade e a durabilidade das resinas compostas. Valores reduzidos de microdureza profunda observados nas duas resinas compostas estudadas podem ser minimizados ou resolvidos clinicamente com técnicas de fotopolimerização adequadas e aplicação da resina composta em camadas incrementais. Apesar das limitações de um experimento *in vitro*, no presente trabalho houve diferença estatística significativa entre as microdurezas superficiais e profundas, porém mais pesquisas devem ser realizadas, especialmente clínicas, para avaliar, além da microdureza, outras propriedades desses materiais restauradores.

Conclusão

Para ambas as resinas compostas estudadas, as médias avaliadas da microdureza superficial foram correspondentemente mais elevadas do que da microdureza profunda; a resina Filtek Z350XT apresentou valores de dureza superiores aos da NT Premium. É necessário que se estabeleça um protocolo para a utilização do fotopolimerizador que inclua checagem do nível de bateria, distância da fonte até o incremento de resina, além de cuidados em relação à luz e às pontes do aparelho.

Referências

1. Aguirar FH, Oliveira TR, Ambrosano G, Lovadino JR. Microhardness of different thicknesses of resin composite polymerized by conventional photocuring at different distances. *Gen Dent.* 2008;56(2):144-8.
2. Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dent Mater.* 2006;22(11):988-94.
3. Barkmeier WW, Erickson RI, Latta MA, Wilwerding TM. Wear rates of resin composites. *Oper Dent.* 2013 Mar-Apr;38(2):226-33. DOI: 10.2341/12-112-L.
4. Beatrice LCS, Silva CHV, Aguiar CM, Faria ABS, Barros LF. Resinas compostas: contração e profundidade de polimerização. *Odontol Clín.-Cient.* 2009;8(2):111-4.
5. Becker AB, Costa SXS, Rastelli ANS, Andrade MF, Bagnato VS, Bier CAS. Influência dos agentes clareadores na microdureza de resina composta nanoparticulada. *RGO.* 2009;57(1):27-31.
6. Choudhary S, Suprabha B. Effectiveness of light emitting diode and halogen light curing units for curing microhybrid and nanocomposites. *J Conserv Dent.* 2013 May;16(3):233-7. DOI: 10.4103/0972-0707.111322.
7. Conceição EM. *Dentística: saúde e estética.* Porto Alegre: Artmed; 2007.
8. Cunha LG, Sinhoreti MA, Correr Sobrinho, Consani S, Góes MF. Efeito dos métodos de fotoativação sobre a dureza Knoop de compósitos odontológicos. *Rev Fac Odontol São José dos Campos.* 2004;4(3):36-42.
9. Da Silva EM, Poskus LT, Guimarães JGA. Influence of light-polymerization modes on the degree of conversion and mechanical properties of resin composites: a comparative analysis between a hybrid and a nanofilled composite. *Oper Dent.* 2008;33(3):287-93.
10. Davidson CL, De Gee AJ. Light-curing units, polymerization, and clinical implications. *J Adhesive Dent.* 2000;2(3):167-73.
11. Firoozmand LM, Araujo RM, Balducci I. Influência de fotopolimerizadores de luz halógena X LED azul na dureza de resina composta. *Braz Dent Sci.* 2005;8(1).
12. Francis N, Rajan RR, Kumar V, Varughese A, Karuveetil V, Sapna CM. Effect of irradiance from curing units on the microhardness of composite – a systematic review. *Evid Based Dent.* 2022 Oct 17. DOI: 10.1038/s41432-022-0824-z.
13. Franco EB, Lopes LG. Conceitos atuais na polimerização de sistemas restauradores resinosos. *Rev Biodonto* 2003;1(2):10-59.
14. Jeong TS, Kim YR, Kim JH, Kim HI, Kwon YH. Effects of LEDs on microhardness and temperaturerise of dental composite resins. *Dent Mat J.* 2007;26(6):838-44.

15. Knezević A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G, Ristić M. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *J Oral Rehabil.* 2001 Jun;28(6): 586-91. DOI: 10.1046/j.1365-2842.2001.00709.x.
16. Mirsasaani SS, Atai MM, Hasani-Sadrabadi MM. Photopolymerization of a dental nanocomposite as restorative material using the argon laser. *Lasers Med Sci.* 2011 Sep;26(5):553-61. DOI: 10.1007/s10103-009-0699-7.
17. Pereira AG, Raposo LHA, Teixeira DNR, Gonzaga RCQ, Cardoso IO, Soares CJ et al. Influence of battery level of a cordless LED unit on the properties of a nanofilled composite resin. *Oper Dent.* 2016;41(4):409-16.
18. Price RB, Ferracane JL, Hickel R, Sullivan B. The light-curing unit: an essential piece of dental equipment. *Int Dent J.* 2020 Dec;70(6):407-17. DOI: 10.1111/idj.12582.
19. Ribeiro BCL, Boaventura JC, Gaião U, Saad, JRC, Candido MSM. Efeito de fontes de luz na microdureza de resinas compostas. *RGO.* 2011;59(2):229-36.
20. Ribeiro RAO, Lima FFDC, Lima IM, Nascimento ABLD, Teixeira HM. Evaluation of light intensity and maintenance of light curing units used in clinics in the city of Recife. *Rev Odontol Unesp.* 2016;45(6):351-5.
21. Santana DJ, Carvalho ALP, Pizani AMA, Saraceni CHC, Queiroz CS. Avaliação da microdureza em resinas compostas fotopolimerizadas com sistemas de luz halógena e diodo emissor de luz. *Odontol Clín.-Cient.* 2010;9(3):239-42.
22. Say EC, Civelek A, Nobecourt A, Ersoy M, Guleryus C. Wear and microhardness of different resin composite materials. *Oper Dent.* 2003;28: 628-34.
23. Silveira BCM, Araújo LSN, Ambrosano GMB, Marchi GM, Aguiar FHB, Catelan A. Influência da distância de fotoativação na microdureza de um compósito de baixa contração de polimerização. *Arch Health Invest.* 2014;3(2):34-9.
24. Silveira RR, Castro JCO, Pompeu JGF, Brandim AS, Araújo AAVL, Barros GA. Análise comparativa da microdureza superficial e profunda entre uma resina composta microhíbrida e uma resina composta de nanopartículas. *Pesq Bras Odontoped Clín Integr.* 2012;12(4):529-34.
25. Souza Júnior MHS, Araújo JLN, Silva CM. Aparelhos fotopolimerizadores que empregam LEDs e lâmpada halógena de quartzo tungstênio. *Rev Ibero-am Odontol Estét Dentística.* 2005;4(14):189-94.
26. Tate WH, Porter KH, Dosch RO. Successful photocuring: don't restore without it. *Oper Dent.* 1999; 24(2):109-14.
27. Tsai PCL, Meyers IA, Laurence A. Depth of cure and surface microhardness of composite resin cured with blue LED curing lights. *Dent Mater.* 2004;20(4):364-9.
28. Verheyen P. Photopolymerization with the argon laser. *J Oral Laser Applic.* 2001;1(1):49-54.