

RELAÇÃO E EFEITOS ENTRE AS TECNOLOGIAS DE CURA POLYWAVE E MONOWAVE COM INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS MATERIAIS E RELEVÂNCIA CLÍNICA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

RELATIONSHIP AND EFFECTS BETWEEN POLYWAVE AND MONOWAVE HEALING TECHNOLOGIES WITH INFLUENCE ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS AND CLINICAL RELEVANCE: A LITERATURE REVIEW

Autores:

Ana Caroline Alves Rosário

Acadêmica de Odontologia, Universidade Federal Fluminense

Marcelo Souza Ribeiro

Acadêmico de Odontologia, Universidade Federal Fluminense

Cristiane Salgado de Souza

Professora Associada, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal Fluminense

Marco Antonio Gallito

Professor Associado, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal Fluminense

Instituição na qual o trabalho foi realizado: Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

Contato para correspondência:

Ana Caroline Alves Rosário

Endereço: Rua Mário Santos Braga, 28 - Centro, Niterói - RJ, 24020 – 14

Telefone: (21) 99882-5790

E-mail: anacarolinerosario6@gmail.com

RESUMO

As resinas compostas são materiais que possibilitam uma gama de consistências, permitindo serem moldados no formato desejado e convertidos através da reação de polimerização em um material rígido, resistente, estético e durável. Tendo em vista que a unidade de fotopolimerização é a parte essencial do processo de cura da resina para que se obtenha o sucesso clínico e as propriedades propostas pelo fabricante a longo prazo, a energia radiante dessas unidades deve ser suficiente dentro da faixa espectral necessária para ativar os fotoiniciadores presentes no material restaurador. Portanto, uma energia insuficiente afetaria as propriedades físico-mecânicas das resinas compostas, reduzindo a força de ligação, aumentando o desgaste marginal, diminuindo a biocompatibilidade e aumentando a colonização bacteriana. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão de literatura acerca das unidades de fotopolimerização com tecnologia Polywave e Monowave destacando suas vantagens com relevância clínica, em ênfase a relação com fotoiniciadores e propriedades físico-mecânicas.

Palavras-chave: Fotopolimerizadores. Monowave. Polywave. Fotoiniciadores.

ABSTRACT

Composite resins are materials that enable a range of consistencies, allowing them to be molded into the desired shape and converted through the polymerization reaction into a rigid, resistant, aesthetic and durable material. Since the light curing unit is the essential part of the resin curing process to achieve clinical success and the properties proposed by the manufacturer in the long term, the radiant energy of these units must be sufficient within the spectral range necessary to activate the photoinitiators present in the restorative material. Therefore, insufficient energy would affect the physical-mechanical properties of composite resins, reducing bond strength, increasing marginal wear, decreasing biocompatibility and increasing bacterial colonization. Thus, the aim of this study was to carry out a literature review about photopolymerization units with Polywave and Monowave technology, highlighting their clinically relevant advantages, emphasizing the relationship with photoinitiators and physical-mechanical properties.

Keywords: Light curing. Monowave. Polywave. Photo-initiator.

1 INTRODUÇÃO

As resinas compostas são materiais utilizados para restaurar e repor tecidos dentais perdidos através de processos infecciosos ou traumas, e para assentar e cimentar dispositivos odontológicos pré-fabricados. Esses materiais permitem a possibilidade de uma gama de consistências, desde fluídas até rígidas, o que permite serem moldados no formato desejado e convertidos através da reação de polimerização em um material rígido, resistente, estético e durável. (ANUSAVICE et al., 2013)

A polimerização de materiais à base de resina composta ocorre pela conversão dos monômeros da matriz de resina em uma rede polimérica reticulada. Esse processo pode ser iniciado por luz externa (fotoiniciador + aminas) ou por meio de agentes químicos (peróxido de benzoíla + aminas). (SIM et al., 2012)

A unidade de luz de cura (ULC) é a parte essencial do processo de cura da resina para que se obtenha o sucesso clínico e as propriedades propostas pelo fabricante a longo prazo. (SIM et al., 2012) Nos anos 2000, visando erradicar os problemas associados às luzes de cura halógena, iniciou-se o uso de luzes com diodo emissor de luz (LED). Esses utilizam lâmpadas LED combinando dois diferentes semicondutores para a produção de luz ao invés de filamentos quentes. Dessa forma, consomem menos energia, não necessitam de ventiladores de refrigeração e possuem maior vida útil sem perda significativa da intensidade da luz. (ANUSAVICE et al., 2013)

As luzes LED de primeira e segunda geração usavam apenas a tecnologia Monowave (single-peak) e não curavam os sistemas iniciadores fenilpropanodiona e óxido de acil fosfina. Os LEDs de primeira geração apresentaram intensidade de aproximadamente 400mW/cm², enquanto, os de segunda geração atingiram intensidades de até 1000mW/cm². Atualmente, os LEDs de terceira geração apresentam a tecnologia Polywave (dual/multi-peak), evitando problemas de compatibilidade de comprimento de onda, além de, apresentar intensidades de luz mais altas e vários modos de cura (início alto, baixo e suave). (GAN et al., 2018)

A canforoquinona (CQ) é um fotoiniciador que apresenta limitação de cor, com isso, outros iniciadores foram introduzidos, como a fenilpropanodiona e os óxidos de fosfina, sendo o óxido de trimetilbenzoil-difenilfosfina (TPO) o mais conhecido. Em estudo realizado por Santini, A. et al. (2012) resinas experimentais contendo apenas TPO apresentaram grau de conversão comparáveis ou mais altos que os que continham CQ com uma amina terciária. Além disso, esses materiais apresentaram maior estabilidade de cor em comparação aos materiais que continham CQ e também aos iniciados pela fenilpropanodiona e óxido de bis-acilfosfina. Porém, o TPO apresenta espectro de absorção de luz deslocados em direção à faixa ultravioleta, que são incompatíveis com os espectros de emissão das unidades de cura por LEDs Monowave, que são limitados a 420-490nm para corresponder ao pico de absorção da CQ. Dessa forma, independente da intensidade de luz do LED, pode haver a incapacidade de curar materiais a base de resina que contém outros iniciadores. (BORTOLOTTI; BETANCOURT; KREJCI, 2016; SANTINI et al., 2012)

A contração de polimerização e o grau de conversão são determinantes para o sucesso clínico das restaurações em resina composta. A contração de polimerização refere-se ao encurtamento da distância das moléculas, devido à formação de ligações covalentes. Em muitos casos, esse fenômeno tem efeitos clínicos negativos. (RO et al., 2015). O grau de conversão refere-se à quantidade de monômero que se converteu na cadeia polimérica, estando assim, relacionado ao processo de polimerização do compósito. Caso a conversão seja baixa, há o comprometimento da

longevidade da restauração, com isso, a densidade de potência emitida pelas fontes de luz deve ser de no mínimo de 300mW/cm² a 400 mW/cm² para um incremento de 1,5mm a 2mm de resina composta. Quanto mais eficaz a unidade fotopolimerizadora, mais fótons estarão disponíveis para absorção e mais fotoiniciadores ficarão excitados favorecendo a polimerização. (LIMA et al., 2016)

O objetivo desse estudo foi realizar uma revisão de literatura acerca das unidades de fotopolimerização com tecnologia Polywave e Monowave destacando suas vantagens com relevância clínica, em ênfase a relação com fotoiniciadores e propriedades físico-mecânicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a realização da presente monografia, foi realizada uma revisão de literatura nas bases de dados PubMed, Scielo, Portal Capes e BVS, utilizando os descritores “Polywave”, “degree of conversion” e “polymerization shrinkage”. Foram buscados artigos entre 2012 até 2019.

Miletic et al., 2012 determinaram o grau de conversão (GC) de resinas contendo iniciador TPO curado por LED Polywave ou Monowave. Nas misturas de resina baseadas em porcentagem igual em peso (% em peso) de BisGMA e TEGDMA foram adicionados os seguintes iniciadores: 0,2% em peso de CQ + 0,8% em peso de 4-dimetilaminobenzoato de etila (EDMAB) (Grupo 1); 1% em peso de TPO (Grupo 2) e 0,1% em peso de CQ + 0,4% em peso EDMAB + 0,5% em peso de TPO (Grupo 3). Metade das amostras em cada grupo (n=5) foram curadas usando LED Polywave (bluephase1 G2, Ivoclar Vivadent) ou LED Monowave (bluephase1, Ivoclar Vivadent). O GC foi medido usando espectroscopia micro-Raman dentro de 5 minutos e depois 1, 3, 6, 24 e 48 horas pós-irradiação. Os dados foram analisados usando modelo linear geral e ANOVA bidirecional para os fatores “tempo”, “material”, “superfície” e “ULC” $\alpha=0,05$. Como resultado, os valores iniciais de GC obtidos após a fotopolimerização permaneceram semelhantes por um período de 48 horas. Bluephase1 G2 produziu a maior GC no Grupo 2, seguido pelo Grupo 3 e Grupo 1. Bluephase1 resultou na maior GC no Grupo 1, seguida pelos Grupos 2 e 3 ($p<0,05$). Conclui-se que os materiais de resina não preenchidos contendo os iniciadores TPO e CQ-amina são efetivamente curados usando bluephase1 G2. A mistura de resina com a mesma % em peso de iniciadores é melhor fotopolimerizada quando o TPO é o único iniciador, em comparação com o CQ-amina somente ou o TPO combinado e sistema CQ-amina. Após a fotopolimerização inicial, nenhuma conversão adicional de monômeros não curados foi detectada em um material de resina não preenchida por 48 horas a 37°C.

Santini et al. 2012 buscaram determinar o GC e a microdureza Knoop (KHN) de compósitos à base de resina contendo óxido de trimetilbenzoiil-difenilfosfina (TPO) curado por LEDs Polywave e Monowave (ULCs). Foram divididos em 3 grupos (n=5 cada) de EvoCeram Tetric (Ivoclar Vivadent), Vit-I-escence (Ultradent) e Herculite XRV Ultra (Kerr), preparados em moldes de Teflon (5mm em diâmetro e 2mm de espessura) e curados com Polywave Bluephase1 G2 (Ivoclar Vivadent), Polywave Valo (Ultradent) ou Bluephase1 Monowave (Ivoclar Vivadent; controle), resultando em 9 grupos. GC e KHN foram avaliadas usando espectroscopia micro-Raman e Knoop microdureza, respectivamente. Para confirmar a presença ou ausência de TPO nos três materiais não curados foram usadas cromatografia líquida de alta eficiência e espectroscopia de ressonância magnética nuclear. Os dados foram analisados estatisticamente por um fator e dois fatores ANOVA, e o GC e a KHN foram

correlacionadas usando a correlação de Pearson ($\alpha=0,05$). Como resultado, o TPO foi confirmado no Tetric EvoCeram e no Vit-I-escence, mas não no Herculite XRV Ultra. As 3 ULCs produziram KHN comparável para Tetric EvoCeram e Herculite XRV Ultra ($p>0,05$). Ambas as ULCs Polywave resultaram em KHN significativamente mais alto para a Vit-I-escence e GC superior em EvoCeram Tetric e Vit-I-escence do que o Bluephase Monowave1 ($p<0,05$). Porém, o Bluephase1 apresentou GC mais alto do que as duas ULCs em Herculite XRV Ultra ($p<0,05$). O coeficiente de correlação de Pearson foi $r=0,818$. Conclui-se que as ULCs LED Polywave melhoraram a conversão de monômero em polímero e a KHN nas compósitos contendo TPO, mas não no Herculite XRV Ultra.

Sim et al., 2012 investigaram como as unidades de LED de pico duplo afetam a polimerização de resinas compostas contendo co-iniciador. Utilizaram cinco resinas compostas contendo o co-iniciador: Aelite LS Posterior (AL), Tetric EvoCeram (TE) e Vit-I-escence (VI); apenas CQ: Grandio (GD) e Filtek Z350 (Z3), foram fotopolimerizados usando quatro unidades diferentes de fotopolimerização. Entre eles, Bluephase G2 (BP) e G-light (GL) eram LEDs de pico duplo. Como resultado, BP e GL não tiveram efeito consistente na microdureza de AL, TE e VI nas superfícies superior e inferior de amostras de resina. Entre as amostras, AL e VI apresentaram o menor (9,86 a 10,41mm) e o maior (17,58 a 19,21mm) contração de polimerização, respectivamente. O efeito da BP e GL na contração das amostras não foi consistente. GD apresentou as maiores propriedades flexurais [força (FS) e módulo (FM)] e TE apresentou as menores propriedades flexurais e compressivas [força (CS) e módulo (CM)] entre os espécimes. Na mesma resina, as diferenças máximas de FS e CS devido às diferentes ULCs foram de 10,3 a 21,0% e 3,6 a 9,2%, respectivamente. Além disso, as influências da BP e GL sobre FS e CS não foram consistentes. Concluiu-se que as unidades de LED de pico duplo testadas não tiveram efeito sinérgico consistente na polimerização de resinas compostas contendo co-iniciador, em comparação com as de LED QTH e de pico único. A escolha da ULC não parece ser um determinante da fotopolimerização das resinas compostas com co-iniciadores.

Brandt et al., 2013 avaliaram as propriedades térmicas e mecânicas das resinas compostas contendo os fotoiniciadores CQ e/ou fenilpropanodiona (PPD) quando fotoativados com lâmpada halógena (XL2500/3M-ESPE), Monowave (unidades de LED UltraBlueIS/DMC) e Polywave (UltraLume5/Ultradent). Uma mistura de BisGMA, UDMA, BisEMA e TEGDMA foi preparada com a mesma % em peso de fotoiniciadores CQ e/ou PPD e 65% em peso de partículas de carga silanizadas. A resistência à compressão (CS), a resistência à tração diametral (DTS) e o módulo diametral (DM) foram testados. A análise termogravimétrica foi realizada e o monômero residual perdido foi verificado. A análise térmica mecânica dinâmica foi utilizada para analisar a temperatura de transição vítrea (T_g) e o módulo de armazenamento a 37°C . O GC foi realizado nas mesmas amostras de DMA usando espectroscopia no infravermelho médio (IV médio). Como resultado: CQ, CQ/PPD e PPD obtiveram os mesmos resultados para todas as propriedades mecânicas (CS, DTS e DM), perda de monômero residual e módulo de armazenamento a 37°C , independentemente da ULC utilizada. Os resultados da T_g mostraram que a combinação de PPD-UltraLume5 produziu os valores mais altos. O GC mostrou que a combinação CQ-UltraLume5 resultou nos valores mais altos e PPD-XL2500 nos valores mais baixos de GC. Concluiu-se que o PPD não é apenas fotossensibilizador eficaz, mas também apresenta eficiência semelhante à CQ em resinas compostas.

Lucey et al., 2014 avaliaram o GC de materiais à base de resina (MBRs) curados com ULCs de LED de pico duplo ou pico único. Amostras de Vit-I-escence (Ultradent) e Herculite XRV Ultra (Kerr) e selantes de fissuras Delton Clear e Delton Opaque (Dentsply) foram preparadas (n=3 por grupo) e curadas com uma das duas ULCs de pico duplo (fase azul) G2; Ivoclar Vivadent ou Valo; Ultradent) ou um pico único (fase azul; Ivoclar Vivadent). Para confirmar a presença ou ausência de iniciadores além da CQ foram utilizadas cromatografia líquida de alta eficiência e espectroscopia de ressonância magnética nuclear. A GC foi determinada usando espectroscopia micro-Raman. Os dados foram analisados usando o modelo linear geral ANOVA; $\alpha=0,05$. Como resultado, com o Herculite XRV Ultra, a ULC de pico único forneceu valores no GC mais altos do que qualquer uma das duas ULCs de pico duplo ($p<0,05$). Ambos os selantes de fissura apresentaram maior GC em comparação com os dois MBRs ($p<0,05$); O óxido de 2,4,6-trimetilbenzoil-difenilfosfina (Lucirin TPO) foi encontrado apenas em Vit-I-escence. Concluiu-se as ULCs de LED de pico duplo podem não ser as mais adequadas para curar materiais que não contêm Lucirin TPO. Um selante transparente mostrou uma melhor cura em todo o material e pode ser mais apropriado do que as versões opacas em fissuras profundas.

Price; Ferracane; Shortall, 2015 avaliaram as evidências científicas sobre a profundidade de cura de compósitos de resina bulk fill (CRBFs). Foi realizado uma revisão de literatura concluindo que no geral, a irradiância dos fotopolimerizadores variou de 650 a 1330mW/cm² e o tempo de exposição de 5 a 60 segundos. Luzes de cura que emitiram irradiância maior ou igual a 1000mW/cm² e tempos de exposição maior ou igual a 20 segundos apresentaram resultados favoráveis de profundidade de cura. Concluindo que altas taxas de cura por CRBFs dependem de fatores como material, irradiância e tempo de exposição. Os Polywaves foram úteis, mas não essenciais na polimerização com fotoiniciadores alternativos.

Ro et al., 2015 testaram lasers de 457 e 473nm, isoladamente ou em combinação, sob diferentes condições de luz. Foram fotopolimerizadas 4 resinas compostas usando 5 combinações diferentes de lasers (530mW/cm² 457nm apenas, 530mW/cm² 473nm apenas, 177mW/cm² 457+177mW/cm² 473nm, 265mW/cm² 457+265mW/cm² 473nm, e 354mW/cm² 457+354mW/cm² 473nm). Uma unidade de LED foi usada para fins de comparação. Nas superfícies superiores após 24 horas, a microdureza obtida com LED e os lasers variaram de 42,4-65,5 e 38,9-67,7Hv, respectivamente. E nas superfícies inferiores, 25,2-56,1 e 18,5-55,7 Hv. Das condições utilizadas, 354 mW/cm² 457nm + 354mW/cm² 473nm apresentou maior microdureza (33,8-55,6Hv). Nas superfícies superior e inferior a menor intensidade de luz total, 354 (177×2) mW/cm² variou 39,0-60,5 e 18,5-52,8Hv, respectivamente. 530mW/cm² a 457nm produziu a menor contração de polimerização. No entanto, os valores de retração obtidos nas 5 condições do laser foram semelhantes. O estudo concluiu que os lasers de 457 e 473nm são úteis para curar resinas compostas isoladamente ou em combinação com intensidades de luz muito mais baixas do que a unidade LED.

Bortolotto, Betancourt e Krejci, 2016 avaliaram a influência dos fotopolimerizadores na adaptação marginal de cavidades restauradas com adesivo autocondicionante contendo iniciadores CQ e 1-fenil-1,2-propanodiona, e compósito híbrido. Foram restaurados com Clearfil S3 Bond e Clearfil APX PLT vinte e quatro classes V (3 grupos, n=8) com margens localizadas no esmalte e dentina, e curados com LED Monowave, LED Polywave e fotopolimerizador de halogênio. A adaptação marginal foi avaliada com microscópio eletrônico de varredura antes e após o carregamento

termomecânico. Em esmalte foram encontradas margens contínuas em % significativamente menores ($74,5 \pm 12,6$) no grupo curado por LED Polywave quando comparado ao LED Monowave ($87,6 \pm 9,5$) e fotopolimerizador de halogênio ($94,4 \pm 9,1$). Conclui-se que a presença de fraturas em esmalte e compósito foi significativamente maior no grupo curado com LED Polywave, provavelmente devido ao aumento da friabilidade dos materiais resultante de um melhor grau de cura.

De Oliveira et al., 2016 avaliaram o efeito da combinação de CQ e TPO na cor e no perfil de cura de compósitos à base de resina. Compósitos experimentais foram produzidos com diferentes concentrações de CQ e TPO: somente CQ, 3CQ: 1TPO, 1CQ: 1TPO, 1CQ: 3TPO e somente TPO. O LED Polywave foi caracterizado usando um perfilador de feixe. Amostras em forma de bloco ($5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 3\text{mm}$ de profundidade) foram curadas em um molde personalizado com LED Polywave posicionado para comparar as regiões expostas às emissões de LED 420-495nm e 380-420nm. Para mapear o perfil de cura, o GC das seções longitudinais de cada bloco foi avaliado pelo FT-NIR. A cor, a transmitância da luz e a absorção da luz durante a cura foram avaliadas em amostras de 1 a 3mm de espessura. Os dados foram analisados pelo teste ANOVA/Tukey ($\alpha=0,05$; $\beta=0,2$). Como resultado, apesar do perfil do feixe de LED Polywave não ser uniforme, até uma profundidade de 2mm, não foram encontradas diferenças no GC entre os compósitos contendo CQ com TPO adicionados a 50%, independentemente da posição sob a ponta de cura. Os compósitos com maior concentração de TPO mostraram uma diminuição no GC começando com uma profundidade de 1mm, enquanto os compósitos com concentrações de CQ mais altas ou semelhantes não apresentaram GC menor até uma profundidade de 3mm. Maior concentração de TPO reduziu o amarelamento inicial e a mudança de cor após a cura, e menor concentração de CQ diminuiu a absorção de luz em maiores profundidades.

Harlow et al., 2016 mediram a transmissão de luz nas faixas espectrais "violeta" ($350 \leq \lambda \leq 425 \text{ nm}$) e "azul" ($425 < \lambda \leq 550\text{nm}$) a partir de uma luz de cura por LED Polywave, através de diferentes espessuras de quatro compósitos à base de resina (CBRs). Foram preparadas amostras de CBRs convencionais (Tetric EvoCeram A2, FiltekSupreme Ultra A2B) e resinas de cura a granel (Tetric EvoCeram Bulk Fill IVA e SureFil SDR Flow U). Três amostras de cada CBR foram feitas nas espessuras de 0,1, 0,7, 1,2 e 4mm. As amostras dos CBRs não curadas foram afixadas na abertura de entrada de uma esfera de integração de 6 polegadas e fotopolimerizadas uma vez por 20s, usando LED Polywave (Bluephase G2) em sua configuração de alta potência. A potência radiante espectral transmitida através de cada CBR nas regiões "violeta" e "azul" foi medida usando um espectrômetro de fibra óptica. Como resultado, à medida que a espessura da resina aumentou, foi medida uma atenuação exponencial da luz transmitida ($R^2 > 0,98$). A atenuação foi maior nas regiões espectrais "violeta" do que nas regiões "azuis". Na ponta da luz o componente luz violeta representava 15,4% da emissão de luz. Depois de passar por 4mm de resina, a luz violeta representava apenas entre 1,2% e 3,1% da luz transmitida, dependendo da resina. Dependendo do CBR, aproximadamente 100mW do Bluephase G2 foram transmitidos através de 0,1mm de resina na faixa "violeta", caindo no máximo para 11mW após passar por 2mm de resina e para apenas 2mW a 4mm profundidade. Concluiu-se que o aumento da espessura do CBR resulta em uma diminuição exponencial na transmissão de luz. Essa atenuação é dependente do CBR, com comprimentos de onda mais curtos (violeta) atenuados em maior extensão do que comprimentos de onda mais longos

(azul). Dessa forma, apesar da translucidez aumentada dos CBRs de cura a granel, é improvável que a potência radiante espectral menor que 425nm de uma luz de cura seja eficaz a uma profundidade de 4mm ou mais.

Contreras, 2017 avaliou a efetividade de diferentes modos de fototivação das resinas compostas bulk fill comparadas às resinas convencionais, analisando sua influência na irradiância, grau de conversão e formação de fendas internas e marginais em restaurações classe II tipo slot vertical após o envelhecimento artificial. Foram cortados, desgastados e realizados preparos classe II em 160 incisivos bovinos para simular dentes posteriores. Os espécimes foram divididos em 4 grupos de acordo com o material restaurador utilizado: Tetric N-Ceram Bulk Fill (TB), Admira Fusion X-tra Bulk fill (AB), Tetric N-Ceram (TC) e GrandioSO (GO). As resinas bulk fill foram inseridas em incremento único de 4mm e os outros grupos foram feitas a técnica incremental oblíqua (2mm). Utilizou-se fotopolimerizadores Monowave (MW) e Polywave (PW) nos dois modos (alta intensidade contínua e rampa). Para análise da irradiância, o espectroradiômetro Patient Simulator (MARC-PS) foi utilizado. O grau de conversão foi testado através da reflectância total atenuada (ATR) do espectrômetro (FTIR). As superfícies superiores das amostras foram irradiadas in loco por 20s. O espectro da superfície inferior foi registrado em tempo real e após 15 minutos da irradiação. As fendas foram testadas em estereomicroscópio (50x), as fendas marginais externas foram avaliadas antes e após a ciclagem termomecânica, e, para a fenda interna, os espécimes foram seccionados e então avaliados. Os dados foram submetidos à ANOVA dois fatores e teste Tukey. Como resultado, a irradiância do LED Monowave foi maior (1822,2 mW/cm² - AIC; 1748,1 mW/cm² - R) e no teste ANOVA dois fatores mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) para o fator tipo de resina. Em relação ao grau de conversão, a resina TB apresentou o menor grau e a AB o maior. Houve diferença significativa ($< 0,05$) para fenda marginal, a resina TC fotopolimerizada PW/AIC apresentou maior média de fenda marginal (13,94 μ m) e TC fotopolimerizada MW/AIC a menor (9,59 μ m). E após o envelhecimento termomecânico a resina GO fotopolimerizada por PW/R mostrou maior fenda interna quando fotopolimerizada por MW/AIC (85,05 μ m). O estudo conclui que o tipo de fotopolimerização não influenciou no grau de conversão. Quando utilizado o Polywave há maiores valores de fenda marginal externa. As resinas bulk fill apresentam menores valores de fenda marginal e interna após o envelhecimento termomecânico quando comparadas com restaurações de resinas convencionais.

Derchi et al., 2018 investigaram três compósitos bulk fill (Mat1, Filtek Bulk Fill, 3M ESPE; Mat2, Surefil SDR, Dentsply; Mat3, Tetric Evo Ceram Bulk Fill, Ivoclar Vivadent,) curados por duas lâmpadas de ondas de polietileno (Poly1, Poly2) e uma Monowave. Para avaliar o GC, rigidez e rugosidade após o polimento utilizaram, respectivamente, espectroscopia no infravermelho, nanoindentation e microscopia de força atômica. Como resultado, Mat2 exibiu maior GC com Poly1 e segundo maior com Monowave, porém se apresentou menos rígido. Mat1 e Mat3 apresentaram maior GC com Poly2, enquanto Poly1 obteve melhor pontuação que o Monowave. O Mat3 teve melhor pontuação que o Mat1 e foi o terceiro mais alto quando curado com o Poly2. A rigidez foi igual ao GC para cada compósito curado por lâmpadas diferentes. A rugosidade não se correlacionou com a dureza. E o valor absoluto da rigidez depende da formulação composta. Dessa forma, conclui-se que as lâmpadas Polywave funcionam melhor que as Monowave, mas não em todos os casos, como

Mat2 que mostrou maior GC com o Monowave que com o Poly2. Embora, todas as lâmpadas garantam um GC maior ou igual a 50%, exceto Monowave para Mat1.

Gan et al., 2018 compararam a eficácia da cura de compósitos bulk fill usando LED Polywave, LED Monowave e luzes halógena convencional. Foram utilizados resina bulk fill Tetric N-Ceram (TNC), que continha o fotoiniciador germânico (Ivocerin), e Smart Dentin Replacement (SDR). Os compósitos foram colocados em moldes de polivinila preto cilíndricos de 4mm de altura e 3mm de diâmetro e foram polimerizados com Bluephase N Polywave High, 1200mW/cm² (10 segundos); Bluephase N Polywave Low (NL), 650mW/cm² (18,5 segundos); Bluephase N Polywave softstart, 0-650mW/cm² (5 segundos); 1200mW/cm² (10 segundos); B Bluephase N Monowave (NM), 800mW/cm² (15 segundos); QHL75 (QH), 550mW/cm² (21,8 segundos). A produção de energia total foi padronizada em 12.000mJ/cm², com exceção do NS. As amostras foram armazenadas em um recipiente à prova de luz a 378C por 24 horas e medidas em um testador de microdureza Knoop (n=6). Os dados foram submetidos a análise estatística unidirecional de variância/teste post hoc de Sheffe a um nível de significância de 0,05. Como os resultados no teste de dureza variaram de 38,43% ± 5,19% a 49,25% ± 6,38% para TNC e 50,67% ± 1,54% a 67,62% ± 6,96% para SDR. As maiores taxas de dureza foram obtidas com NM e as menores com NL, e, concluíram que embora não tenha sido observada diferença significativa nas razões de dureza entre os fotopolimerizadores para o TNC, a razão de dureza obtida com NM foi significativamente maior que a razão de dureza obtida com NL para SDR.

Sahadi et al., 2018 avaliaram efeito de duas unidades diferentes de fotopolimerização na rugosidade da superfície, perfil de rugosidade, topografia e microdureza de compósitos bulk fill após a escovação in vitro. Foram utilizadas as luzes de cura Valo (Polywave) e Demi Ultra (Monowave) por 10s para curar 3 compósitos de resina bulk fill: Restaurador posterior Filtek Bulk Fill (FBF), Tetric EvoCeram Bulk Fill (TET) e Surefil SDR Flow (SSF). O perfil de rugosidade, rugosidade da superfície, morfologia da superfície e microdureza foram examinados após 30.000 golpes recíprocos em uma máquina de escovar os dentes. Imagens SEM representativas também foram obtidas. Quando polimerizado com o Demi Ultra, o SSF mostrou a maior perda de volume em comparação com os outros compósitos e maior perda de volume quando comparado a fotopolimerização com Valo. Os valores mais altos de rugosidade superficial e perfil de rugosidade foram encontrados no SSF após a escovação, para as duas unidades de fotopolimerização testadas. O FBF teve os maiores valores de microdureza. A TET fotopolimerizável com Valo resultou em microdureza mais alta quando comparada ao uso do Demi Ultra. Imagens confocais e SEM mostram que a escovação resultou em superfícies mais suaves para FBF e TET. Todos os compósitos apresentaram perda de volume superficial após a escovação, essa perda dependia da unidade de fotopolimerização utilizada. Concluiu-se que, a escolha da unidade de fotopolimerização não afetou o perfil de rugosidade, mas, dependendo do compósito, afetou a microdureza.

Chen et al., 2019 avaliaram in vitro o efeito de LEDs Monowave e Polywave na adesão de cimentos de resina autoadesiva de dupla polimerização à zircônia monolítica. Noventa e seis discos de zircônia foram divididos aleatoriamente em 4 grupos com combinações diferentes de ULCs e cimentos de resina, ES-U200, BS-U200, ES-SC e BS-SC. Os cimentos resinosos foram aderidos aos discos de zircônia, e o teste de resistência de união ao microshear (mSBS) foi realizado após 24 horas de armazenamento de H₂O (24h) e 10.000 ciclos térmicos (10k/TC). Os modos de falha

foram examinados por estereomicroscopia e microscopia eletrônica de varredura. O GC foi testado imediatamente após 24 horas. Foram realizados os testes ANOVA de dois fatores e Tukey para os resultados de mSBS e GC, e o teste do qui-quadrado para a análise do modo de falha ($\alpha=0,05$ para todos os testes). Como resultado, a ANOVA de dois fatores demonstrou que diferentes combinações de LPUs e cimentos resinosos e diferentes níveis de envelhecimento artificial, influenciaram significativamente os valores da resistência de união ao micro-cisalhamento ($P<0,001$). As interações entre dois fatores também foram significativas ($P<0,001$). O grupo BS-SC possui resistência de união relativamente alta nos níveis de envelhecimento de 24 horas e 10k/TC, não foi encontrada diferença no GC imediato ($P=0,405$ para U200 e $P=0,708$ para SC). Após 24h GC e BS-U200 eram significativamente maiores que os valores de ES-U200 ($P=0,002$), enquanto os valores de BS-SC não eram significativamente diferentes dos valores de ES-SC ($P=0,284$). Concluiu-se que os espectros de emissão das unidades de LED influenciaram significativamente as forças de união, GC e modo de falha de cimentos de resina auto-adesiva de dupla polimerização para zircônia nos níveis de envelhecimento imediato e artificial. A LPU deve fornecer energia para corresponder aos comprimentos de onda de absorção dos fotoiniciadores presentes nos cimentos resinosos.

3 DISCUSSÃO

Os Monowave e Polywave possuem picos de emissão diferentes, que podem afetar a cura da resina, pois para a fotopolimerização se tornar eficaz, a energia radiante deve ser suficiente dentro da faixa espectral necessária para ativar os fotoiniciadores presentes no material. (PRICE; FERRACANE; SHORTALL, 2015) A densidade de energia recebida pela resina é o produto matemático de irradiância e tempo de exposição. Uma energia insuficiente afetaria as propriedades físico-mecânicas das resinas compostas, reduzindo a força de ligação, aumentando o desgaste marginal, diminuindo a biocompatibilidade e aumentando a colonização bacteriana. (DERCHI et al., 2018) O estudo de Lima et al., 2016 afirma que ao observar resinas compostas fotoativadas com aparelhos de maior intensidade de potência, independentemente do tempo, apresentaram maior grau de conversão, pois há mais fótons disponíveis para absorção, conseqüentemente, mais moléculas de fotoiniciador ficam excitadas promovendo maior polimerização. (LIMA et al., 2016)

As resinas compostas quando curadas usando fontes de luz altamente não homogêneas, a polimerização e microdureza são afetadas adversamente. (PRICE; FERRACANE; SHORTALL, 2015) Em relação a microdureza, no estudo de Sahadi et al., 2018 concluiu-se que, a escolha da unidade de fotopolimerização não afetou o perfil de rugosidade, mas, dependendo do compósito, afetou a microdureza. (SAHADI, et al., 2018) O estudo de Price et al., 2015 avaliou perfis de feixe calibrados de duas unidades de fotopolimerização mostrando a distribuição de irradiância média (mW/cm^2) na ponta de luz, evidenciando que algumas regiões na ponta de luz com saída não uniforme fornecem menos de $400mW/cm^2$, enquanto outras regiões fornecem mais de $4.500mW/cm^2$. Mesmo que a saída radiante média de uma ULC seja mais baixa do que a outra ULC, é preferível aquela com saída radiante média mais baixa, por ser mais ampla com luz mais homogênea. Esse problema pode ser pouco, mas não totalmente superado ao estender o tempo de exposição além do tempo recomendado pelo fabricante. Entretanto, um fotopolimerizador com saída de luz não homogênea pode causar mudanças de temperatura na resina composta. As

resinas polimerizadas em temperatura elevada (37°C) aumentam o estresse mais rapidamente que as amostras a polimerizadas 23°C. A taxa de reação pode aumentar em 1,90% a cada aumento de 1°C na temperatura. Foi relatado que após 1 segundo de luz acesa, a taxa de conversão é duas vezes mais rápida que inicialmente. (PRICE; FERRACANE; SHORTALL, 2015) Dessa forma, quanto menos homogênea for a saída de luz maior temperatura, conseqüentemente, maior estresse do material.

No caso de restaurações em resina composta classe V, Bortolotto et al., 2016 evidenciaram a integridade marginal dessas restaurações com o mesmo adesivo utilizando diferentes luzes de cura. Não houve diferença na adaptação marginal nos grupos de LED Monowave e halogênio, o que se explica devido aos comprimentos de onda semelhantes entre as duas unidades, que é entre 400 e 500nm, apresentando assim, resultados similares na adaptação marginal. Enquanto, o grupo fotopolimerizado com o Polywave apresentou melhor grau de cura, porém, à medida que aumenta o grau de conversão, a resina se torna mais friável, ou seja, a capacidade de um material sólido ser reduzido a peças com pouco esforço. (BORTOLOTTI; BETANCOURT; KREJCI, 2016) Com isso, o maior grau de cura pode resultar em margens frágeis de esmaltes de restaurações de classe V.

A dureza é um indicador do grau de polimerização, no qual, depende não apenas da conversão, mas também da natureza e da ligação entre monômeros. (GAN et al., 2018) No estudo de Gan et al., 2018 não houve diferença significativa nas razões de dureza entre as luzes/modos de cura para o compósito bulk fill TNC, porém a razão de dureza obtida com a tecnologia Monowave foi significativamente superior à taxa de dureza obtida com a tecnologia Polywave para a SDR. O que pode ter ocorrido devido à variação na composição composta, variações na atenuação da luz, tempo de exposição, tipo de rede polimérica resultante e por diferenças de fotoiniciador. A vantagem em usar o LED Polywave de terceira geração está em promover maior comprimento de onda em faixa espectral ampla que coincide com a faixa para ativar a CQ e fotoiniciadores alternativos presentes nas resinas. Contrário aos LEDs de segunda geração Monowave que emitem valores altos de irradiância, porém, esses valores elevados podem gerar calor e conseqüentemente dano à polpa. No estudo citado, o SDR usa principalmente o CQ como fotoiniciador, dessa forma, a cura por LEDs Polywave não ofereceu vantagens. (GAN et al., 2018; BORTOLOTTI; BETANCOURT; KREJCI, 2016; SANTINI et al., 2012; CONTRERAS, 2017)

Miletic et al., 2012 afirmaram que o ULC Polywave Bluephase® G2 teve melhor desempenho que o ULC Monowave Bluephase® nos grupos contendo TPO e CQ-amina, produzindo maior grau de conversão. O uso combinado de TPO e CQ-amina não resultou em valores aumentados em comparação ao utilizar apenas TPO ou CQ-amina. (MILETIC, SANTINI, 2012) Esta ideia é reforçada no estudo de Chen et al., 2019 que, ao investigar o efeito do Monowave e Polywave na adesão de cimentos resinosos a zircônia, concluiu que os ULCs Polywave são recomendados devido ao seu espectro de emissão abranger a onda de absorção da CQ e outros fotoiniciadores recém desenvolvidos. (CHEN et al., 2019) Esta ideia também é reforçada no estudo de Santini et al., 2012, onde as ULCs Polywave testadas também apresentaram melhor desempenho na conversão de monômero para polímero, além de maior microdureza Knoop, ao comparar com o ULC Monowave em resinas compostas (Tetric EvoCeram e Vit-I-escence) contendo TPO. Porém, a resina (Herculite XRV Ultra) que não continha o fotoiniciador, o Monowave se apresentou melhor que o Polywave com maior irradiância e mais energia que ambas as ULCs Polywave. (RO et al., 2015)

Outro fotoiniciador, é o PPD, que em estudo de Brandt et al. concluíram que esse fotoiniciador apresenta eficiência semelhante à CQ em resinas compostas. (BRANDT et al., 2013)

Semelhante aos estudos anteriores, Lucey et al., 2014 afirmaram que a resina Vit-I-scence mostrou maiores valores de GC quando curada com LED Polywave (Valo e Bluephase) em comparação ao Monowave, também podendo ser associado a presença do fotoiniciador Lucirin TPO no material. Sem Lucirin a irradiância da ponta medida do Monowave foi de 1567mw/cm², que era maior que qualquer um dos ULCs Polywaves presentes no estudo. Assim, entregou maior energia total na região de absorção de CQ, podendo aumentar o efeito da reação fotoquímica no sistema CQ-amina. Quando se tratou de selante de fissuras as três se apresentaram semelhantes. (DE OLIVEIRA, et al. 2016)

De Oliveira et al., 2016 afirmaram que compostos contendo apenas CQ e TPO demonstraram perfis de cura homogêneos, com GC semelhantes em profundidades de 1, 2 e 3mm, o GC variou tornando-se menor nas profundidades maiores. Diferenças no GC causadas pelo sistema fotoiniciador e sua interação com os diferentes comprimentos de ondas emitidos pelo LED Polywave eram esperadas, dada a atenuação de luz diferente para menor comprimento de onda como 380–420nm em comparação com 420–495nm. Com base na teoria de espelhamento de Rayleigh, a transmissão de luz em porções mais profundas de uma restauração seria reduzida em comprimentos de ondas mais curtas. Dessa forma, como o máximo do TPO tem a faixa de comprimento de onda mais curta de espectro de emissão (380-420nm) em comparação ao CQ (420-495nm), haverá limitações na profundidade de cura para compósitos contendo este fotoiniciador, independente da região de emitância do LED (espectros de 380–420nm ou 420–495nm). Foi observado que compósitos contendo apenas TPO demonstrou uma diminuição na eficiência de cura em profundidade de 1mm, enquanto, esta redução só foi observada na profundidade de 3mm em compósito com CQ. Dessa forma, a dispersão de luz pela diferença de índice de refração das partículas de matéria orgânica parece reduzir o efeito da natureza não uniforme do perfil de feixe do LED, porém em diferentes extensões de acordo com o comprimento de onda. (DE OLIVEIRA et al., 2016; HARLOW et al., 2016)

Enquanto, o estudo de Derchi et al., 2018 mostrou que mesmo os espécimes do mesmo material curado com lâmpadas diferentes se apresentavam semelhantes, para qualquer material, o que é explicado pela morfologia da superfície dos espécimes e pela formulação composta, e, especialmente pelo tamanho do preenchimento e carregamento, ao invés dos efeitos das diferentes lâmpadas. (DERCHI et al., 2018)

No estudo de Contreras, 2017 o fotopolimerizador Monowave 3M ESPE apresentou maior valor de irradiância e diferença significativa do fotopolimerizador Polywave Bluephase N. No Monowave, os diferentes modos de ativação testados não mostraram diferenças na irradiância, enquanto o Polywave apresentou no modo rampa uma irradiância significativamente menor que o modo alta intensidade contínua. O que não chega a ser uma desvantagem, pois a quantidade de irradiância emitida no modo rampa de aparelhos LED seria suficiente para obter um adequado grau de conversão. (CONTRERAS, 2017)

Apesar da inclusão de alta concentração de CQ na resina composta ser benéfica para aumentar o grau de polimerização, isso levaria, do ponto de vista estético, incompatibilidade de cores com os dentes vizinhos. Para diminuir esse conflito, a inclusão de co-iniciadores foi sugerida. (SIM et al., 2012) Haveria a hipótese da

combinação de CQ e TPO aumentar a profundidade de cura em comparação com o sistema somente CQ, além de reduzir o amarelecimento e a mudança de cor em comparação ao uso somente de CQ. A presença de TPO reduziu o amarelamento inicial do compósito, mudança de cor após cura em comparação ao uso somente de CQ, e o efeito era dependente da concentração. Quando utilizado CQ e TPO na proporção 1:1 demonstrou menor amarelamento inicial e menor mudança de cor após a cura, sem afetar profundidade de cura em comparação com o sistema apenas CQ, independentemente da emitância do comprimento de onda do LED Polywave. A reação química do grupo cromóforo carbonil, presente na CQ, com uma amina terciária após exposição à luz, ocorre um efeito de fotobranqueamento progressivamente durante a cura. Embora esse fotobranqueamento reduza o amarelo inicial, torna difícil a correspondência de cores para seleção de tonalidade clínica. Ao substituir CQ por TPO há redução desse problema, porém, em contra partida, adições de 50% do TPO resultou em eficiência de cura reduzida em incrementos superiores a 2mm. Assim, o TPO deve ser limitado a 50% ou menos em compósitos convencionais, exigindo a técnica de estratificação usando incrementos de até 2mm. (DE OLIVEIRA, et al. 2016)

Ao comparar fotopolimerizadores LED e combinações de lasers 457 e 473nm, Ro et al., 2015 concluíram que os lasers são úteis para curar resinas compostas isoladamente ou em combinação com intensidades de luz muito mais baixas do que a unidade LED. Esses apresentam vantagem devido ao tamanho pequeno, relação custo-benefício e emissões mais próximas do pico de absorção da CQ. A qualidade de luz externa ao ativar o CQ é importante. Como a largura de banda de luz do LED ultrapassa 100nm, o número de fótons disponíveis para excitação de moléculas CQ do comprimento de onda correspondente será muito reduzido. Enquanto, os lasers testados podem ser mais eficazes porque a maioria dos seus fótons tem o mesmo comprimento de onda (monocromático), podendo ativar ao máximo as moléculas CQ do comprimento de onda correspondente. Porém, a quantidade de CQ nas resinas compostas é pequeno, no geral, menos que 1% em peso, não está claro se a demanda e oferta de fótons e fotoiniciador foi perfeitamente equilibrada. Necessitando assim, de mais estudos a cerca desse assunto. Contudo, após envelhecimento por 24hs, os espécimes curados com a unidade de LED mostraram maior microdureza nas superfícies superiores, porém o laser funciona em intensidade de luz aproximada a 350 a 710mW/cm², que corresponde aproximadamente 40 a 80% da intensidade de luz do LED unidade usado. Essa menor intensidade de luz tem como benefício uma contração de polimerização inferior em comparação ao LED. (RO et al., 2015)

4 CONCLUSÕES

Com base na revisão de literatura realizada, foi possível concluir que:

- um fotopolimerizador com uma saída de luz não homogênea afeta as propriedades físico-mecânicas, gerando maior estresse do material.
- os fotopolimerizadores devem fornecer energia luminosa correspondente ao comprimento de onda de absorção dos fotoiniciadores presentes na resina, pois a cura inadequada compromete a longevidade clínica das restaurações.
- quando a cura do material é feita com a tecnologia Polywave, há melhores propriedades físico-mecânicas, com exceção dos casos que o material apresenta apenas a CQ como fotoiniciador.

- lâmpadas Polywave aumentaram significativamente o grau de conversão das resinas bulk fill em comparação as lâmpadas Monowave, mas não em todos os casos, entretanto, ambas lâmpadas garantem grau de conversão maior ou igual a 50%.
- proporção 1:1 de CQ e TPO demonstrou menor amarelamento da restauração, independente do comprimento de onda do LED Polywave.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANUSAVICE, K. et al. Phillips materiais dentários. 12. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2013, 275-304
2. BORTOLOTTI, T.; BETANCOURT, F.; KREJCI, I. "Marginal integrity of resin composite restorations restored with PPD initiator-containing resin composite cured by QTH, monowave and polywave LED units." *Dent. Mat. J.*, v. 35, n. 6, p. 869-75, 2016
3. BRANDT, W.C.; SILVA, C.G.; FROLLINI, E.; SOUZA-JUNIOR, E.J.C.; SINHORETI, M.A.C. "Dynamic mechanical thermal analysis of composite resins with CQ and PPD as photo-initiators photoactivated by QTH and LED units." *J. Mechanical Behavior Biomedical Mat.*, v. 24, p. 21–29, 2013
4. CHEN, Y.; YAO, C.; HUANG, C.; WANG, Y. "The effect of monowave and polywave light-polymerization units on the adhesion of resin cements to zirconia." *J. Prosthet Dent. China*, v.121, n. 3, p. e1-e7, 2019
5. CONTRERAS, S.C.M. "Influência do modo de foto ativação no grau de conversão, e adaptação marginal e interna de restaurações classe II com resinas compostas bulk fill." São José dos Campos: [s.n.], 2017. 87 f. Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista
6. DE OLIVEIRA, D. C. R. S.; ROCHA, M. G.; CORREA, I. C.; CORRER, A. B.; FERRACANE, J. L.; SINHORETI, M. A. C. "The effect of combining photoinitiator systems on the color and curing profile of resin-based composites." *Dental Mat.*, v. 32, n.10, p. 1209–17, 2016
7. DERCHI, G.; VANO, M.; CESERACCIU, L.; DIASPRO, A.; SALERNO, M. "Stiffness effect of using polywave or monowave LED units for photo-curing different bulk fill composites." *Dent. Mat. J.*, v. 37, n. 5, p. 709-716, 2018
8. GAN, JK.; YAP, A.U.; CHEONG, J.W.; ARISTA, N.; TAN, C.B.K. "Bulk-Fill Composites: Effectiveness of Cure With Poly- and Monowave Curing Lights and Modes." *Operative Dentistry*, v. 43, n. 2, p.136-43, 2018
9. HARLOW, J.E.; RUEGGERBERG, F.A.; LABRIE, D., SULLIVAN, B.; PRICE, R. B. "Transmission of violet and blue light through conventional (layered) and bulk cured resin-based composites." *J. Dent.*, v. 53, p. 44–50, 2016
10. LIMA, A.L.X.; SOUZA, P.H.; AMORIM, D.M.G.; CALDAS, S.G.F.R.; GALVÃO, M.R. "Evaluation of the degree of conversion of composite resins photoactivated in different curing times and power densities." *RFO UPF*, v. 21, n. 2, p. 219-223, 2016

11. LUCEY, S.M.; SANTINI, A.; ROEBUCK, E.M. "Degree of conversion of resin-based materials cured with dual-peak or single-peak LED light-curing units." *Int. J. Pediatric Dent.* v. 25, n. 2, p. 93–102, 2014
12. MILETIC, V.; SANTINI, A. "Micro-Raman spectroscopic analysis of the degree of conversion of composite resins containing different initiators cured by polywave or monowave LED units." *J. Dentistry*, v. 40, n. 2, p. 106–13, 2012
13. PRICE R.B.; FERRACANE J.L.; SHORTALL A.C. "Light-curing units: a review of what we need to know" *J Dent Res*, v. 94, n. 9, p. 1179–86, 2015
14. RO, J.-H., RO; SON, S.-A.; PARK, J.; JEON, G.-R; KO, C.-C.; KWON, Y. H. "Effect of two lasers on the polymerization of composite resins: single vs combination." *Lasers Medical Science*, v. 30, n. 5, p. 1497–503, 2015
15. SAHADI, B.O.; PRICE, R.B.; ANDRÉ, C.B.; SEBOLD M.; BERMEJO G.N.; PALMA-DIBB, R.G. et al. "Multiple-peak and single-peak dental curing lights comparison on the wear resistance of bulk-fill composites." *Braz. oral res.*, v. 32, p. e122, 2018
16. SANTINI, A.; MILETIC, V.; SWIFT, M. D.; BRADLEY, M. "Degree of conversion and microhardness of TPO-containing resin-based composites cured by polywave and monowave LED units." *J. Dent.*, v. 40, n. 7, p. 577–84, 2012
17. SIM, J.-S.; SEOL, H.-J.; PARK, J.-K.; GARCIA-GODOY, F.; KIM, H.-I.; KWON, Y. H.. "Interaction of LED light with coinitiator-containing composite resins: Effect of dual peaks." *Journal of Dentistry*, v. 40, n. 10, p. 836–42, 2012