



## Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial

[www.elsevier.pt/spemd](http://www.elsevier.pt/spemd)



### Investigação original

# Influência do tempo de exposição e distância à luz na capacidade de fotopolimerização de compósitos



Ana Borges\*, João Pitta-Lopes e Jaime Portugal

Faculdade de Medicina Dentária da Universidade de Lisboa, UICOB - Unidade I&D nº 4062 da FCT, Lisboa, Portugal

#### INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

##### Historial do artigo:

Recebido a 7 de maio de 2015

Aceite a 22 de julho de 2015

On-line a 8 de setembro de 2015

##### Palavras-chave:

Resinas compostas

Distância à luz

Tempo de fotopolimerização

Testes de microdureza

#### R E S U M O

**Objetivos:** Avaliar a influência da distância e do tempo de exposição à luz na capacidade de polimerização de 4 compósitos.

**Métodos:** Foram fabricados 160 discos, com 2 mm de espessura, de acordo as combinações possíveis entre compósito (Filtek<sup>TM</sup> Supreme XTE [3M-ESPE]; Filtek<sup>TM</sup> Silorane [3M-ESPE]; Grandio<sup>®</sup> SO [Voco]; Herculite<sup>®</sup> XRV Ultra [Kerr]), distância à fonte de luz (0, 2, 4, 6 mm) e tempo de exposição (recomendado pelo respetivo fabricante; dobro do recomendado pelo fabricante). Foram constituídos 32 grupos experimentais (n = 5). Após determinação da microdureza Knoop (KH) na superfície do disco de compósito mais perto da fonte luminosa (topo) e na mais distante (base), foi calculado o rácio de microdureza (KH base / KH topo). Os dados de KH do topo foram analisados com testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney (alfa = 0,05).

**Resultados:** Tanto o tipo de compósito (p < 0,001) como a distância da luz (p < 0,001) influenciaram de forma significativa a KH do topo dos espécimes. No entanto, a KH do topo não foi influenciada pelo tempo de exposição à luz (p = 0,072). Com a fonte de luz a 0 mm o tempo de exposição recomendado pelo fabricante garante adequada polimerização de todos os compósitos. Em nenhuma das situações experimentais com a fonte de luz a 6 mm foi obtida uma correta polimerização da base dos espécimes.

**Conclusões:** O aumento da distância da fonte da luz apresentou uma influência negativa na polimerização da base dos espécimes. Apesar da duplicação do tempo de exposição não influenciar a microdureza do topo, aumentou a polimerização da base dos espécimes.

© 2015 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

\* Autor para correspondência.

Correio eletrónico: [al.borges.silva@gmail.com](mailto:al.borges.silva@gmail.com) (A. Borges).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rpemd.2015.07.001>

1646-2890/© 2015 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Influence of exposure time and distance to light on the ability to composite light curing

### A B S T R A C T

#### Keywords:

Composite resins  
Distance to light  
Time exposure  
Hardness tests

**Objectives:** To evaluate the influence of distance to light and exposure time on the ability to light curing four composites resins.

**Methods:** One hundred and sixty discs were made, with 2 mm thick, according to the possible combinations between composite [Filtek<sup>TM</sup> Supreme XTE (3M-ESPE); Filtek<sup>TM</sup> Silorane (3M-ESPE); Grandio<sup>®</sup> SO (Voco); Herculite<sup>®</sup> XRV Ultra (Kerr)], distance to the light source (0, 2, 4, 6 mm) and time exposure (recommended by the respective manufacturer; 2 x recommended by the manufacturer). Thirty-two experimental groups were set ( $n = 5$ ). Knoop hardness (KH) was determined on the disc surface closest to the light source (top) and on the furthest surface (base). The microhardness ratio (KH base / top KH) was calculated. The KH of the top surface data were analyzed using Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests ( $\alpha = 0.05$ ).

**Results:** Both, the type of composite ( $p < 0.001$ ) as the distance to light ( $p < 0.001$ ), significantly influenced the KH of the top surface. However, the KH was not influenced by light exposure time ( $p = 0.072$ ). Setting the light at 0 mm to composite top surface, the exposure time recommended by the manufacturer ensures proper curing of all composites tested. With 6 mm to light source, an adequate base polymerization was yielded in any of the experimental conditions.

**Conclusions:** Increasing the distance between light source and composite has a negative influence on composite polymerization ability, mainly on the base surface. Doubling the light exposure time increased the polymerization ability of the base surface, however it didn't affect top surface microhardness.

© 2015 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introdução

A adequada polimerização das resinas compostas é determinante para a maximização das características físicas, mecânicas e biológicas dos compósitos. A obtenção de um elevado grau de conversão é fundamental para garantir o sucesso clínico das restaurações realizadas com este tipo de material<sup>1-7</sup>. No caso dos compósitos fotopolimerizáveis, a correta ativação dos sistemas fotoiniciadores implica o fornecimento de uma determinada quantidade de energia que, por sua vez, depende da intensidade da radiação luminosa com um comprimento de onda específico e do tempo de exposição do compósito à luz<sup>8-13</sup>. Desta forma, o tempo de exposição recomendado pelos fabricantes das diversas resinas compostas varia de acordo com a intensidade da luz gerada pelo fotopolimerizador utilizado pelo clínico.

Os tempos de exposição propostos são calculados no pressuposto de que a ponta do fotopolimerizador se encontra em contacto direto com a superfície do compósito a polimerizar. Contudo, fatores clínicos como o desenho e a profundidade da cavidade, a presença de tecido dentário remanescente ou o acesso e direção da luz podem limitar essa proximidade<sup>2,3,14-19</sup>. Essa limitação parece ser mais sentida na restauração de cavidades classe II. Neste tipo de cavidades, a profundidade das caixas proximais apresenta valores médios de cerca de 6 mm podendo, em alguns casos, atingir valores superiores a 8 mm<sup>15,16</sup>. Uma vez que as pontas condutoras de luz da maior parte dos aparelhos fotopolimerizadores

apresenta um diâmetro superior à largura da cavidade, a distância da fonte de luz à superfície do compósito que se deseja polimerizar atinge valores bastante diferentes dos pressupostos para o cálculo do tempo de exposição. Nestes casos, e uma vez que a intensidade da radiação luminosa diminui com o aumento da distância que tem que percorrer, a eficácia de polimerização poderá ficar comprometida<sup>1,16,18,20-22</sup>. Por outro lado, a intensidade da radiação luminosa também sofre uma diminuição considerável à medida que atravessa o bloco de compósito a polimerizar, sendo esta uma das razões pelas quais é preconizada a restauração pela aplicação e fotopolimerização sucessiva de incrementos, que na maior parte dos compósitos não deverão ter uma espessura superior a 2 mm<sup>22,23</sup>. A diminuição da intensidade da radiação luminosa à medida que atravessa o compósito depende de diversos fatores intrínsecos ao material de restauração, como o tipo de monómero, tamanho e tipo de partículas de carga, cor e opacidade da resina<sup>7,9,24-26</sup>. Desta forma, a capacidade de polimerização da superfície mais afastada da fonte luminosa é normalmente inferior à da superfície mais próxima da luz. A determinação da microdureza do compósito, nomeadamente o rácio entre a microdureza da superfície mais longe e mais perto da fonte de luz, tem sido um dos métodos utilizados para indiretamente avaliar a capacidade de polimerização das resinas compostas<sup>3,7,25-27</sup>.

Desta forma, sempre que seja clinicamente impossível aplicar a fonte luminosa virtualmente em contacto com a superfície do compósito, poderá ser equacionada a hipótese de aumentar o tempo de exposição à luz, reduzir a espessura dos

**Tabela 1 – Resinas compostas utilizadas no estudo**

|                                                          | Filtek™ Supreme XTE                              | Filtek™ Silorane           | Grandio®SO                             | Herculite®XRV Ultra                                   |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Matriz                                                   | Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA, bis-EMA           | Silorano                   | Bis-GMA, bis-EMA, TEGDMA               | Bis-GMA, TEGDMA, UDMA                                 |
| Partículas de carga                                      | Sílica e zircônio, clusters de sílica e zircônio | Quartzo, fluoreto de ítrio | Vidros de cerâmica, dióxido de silício | Sílica, vidros de bário, partículas pré-polymerizadas |
| Tamanho médio das partículas (µm)                        | 0,6-10                                           | 0,1-2                      | 1                                      | 0,4                                                   |
| % carga (vol.)                                           | 63,3                                             | 55                         | 73                                     | 55,7                                                  |
| Tempo de exposição à luz recomendado pelo fabricante (s) | 20                                               | 40                         | 10                                     | 20                                                    |
| N.º lote                                                 | N 450360                                         | N 444412                   | 1334312                                | 4675187                                               |
| Validade                                                 | 2015-09                                          | 2014-03                    | 2016-02                                | 2015-09                                               |

incrementos ou utilizar compósito com cores claras e baixa opacidade nos incrementos mais profundos<sup>3,4,20,22,28</sup>.

Os objetivos deste estudo foram avaliar a capacidade de fotopolimerização de 4 compósitos em diferentes condições de acordo com as seguintes hipóteses em teste: 1) a distância da fonte de luz ao compósito não influencia a microdureza; e 2) o tempo de exposição à luz não influencia a microdureza dos compósitos. Foi também objetivo deste estudo avaliar a capacidade de polimerização nas condições experimentais estudadas de incrementos de compósito com 2 mm.

## Materiais e métodos

Tendo por base os dados de um estudo anterior, o tamanho da amostra (n = 5) foi estimado com uma análise de potência de forma a garantir uma significância estatística (alfa = 0,05) e uma potência de 80%.

Foram fabricados um total de 160 espécimes em forma de disco, com 4 resinas compostas fotopolimerizáveis (Filtek Supreme XTE [3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN, EUA], Filtek Silorane [3M ESPE Dental Products], GrandioSO [Voco GmbH, Cuxhaven, Alemanha] e Herculite XRV Ultra [KerrHawe, Bioggio, Suíça]) (tabela 1), de cor A2.

Para a padronização da dimensão dos espécimes (5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) foi utilizando um anel de silicone como matriz. O anel foi aplicado sobre uma matriz de acetato que por sua vez tinha sido colocada sobre a superfície vestibular de um dente incisivo central superior, que serviu como material refletor da luz. A matriz foi preenchida com compósito e a sua superfície foi coberta com uma segunda matriz de acetato. Após a planificação das superfícies de compósito, exercendo pressão com uma placa de vidro, foi realizada a fotoativação do compósito aplicando a ponta do fotopolimerizador LED (950 mW/cm<sup>2</sup>, Ortholux LED Curing Light, 3M Unitek, Puchheim, Alemanha) diretamente sobre a matriz de acetato ou a uma distância de 2, 4 ou 6 mm da superfície do compósito, consoante o grupo experimental. A padronização da distância entre a fonte luminosa e o compósito foi obtida pela utilização de espaçadores de teflon com a forma de um cilindro oco. A ponta do fotopolimerizador foi

sempre orientada de maneira a formar um ângulo de 90° com a superfície do compósito.

Como tempo de exposição foi utilizado o recomendado pelo fabricante do respetivo compósito (tabela 1) ou, em alternativa, o dobro desse tempo.

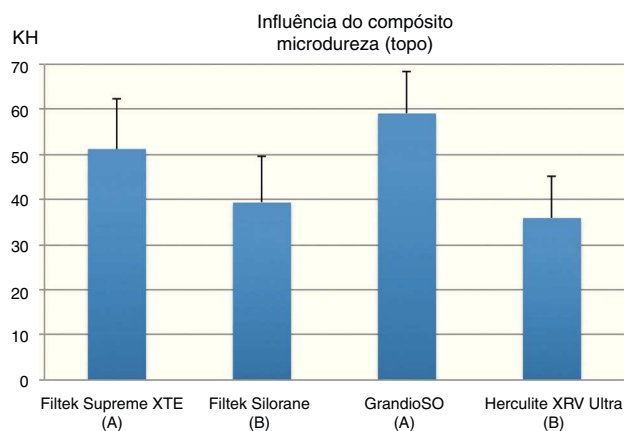
A intensidade da luz emitida foi comprovada imediatamente antes da fotopolimerização de cada grupo experimental com um radiômetro (Bluephase® meter, Ivoclar Vivadent, Schann, Liechtenstein).

Desta forma, foram constituídos 32 grupos experimentais de acordo com as várias combinações possíveis entre o compósito, distância à fonte luminosa e tempo de exposição (n = 5).

Em cada espécime a superfície mais afastada da fonte da luz foi denominada como base e a mais próxima como topo.

Imediatamente após a fotopolimerização os espécimes foram armazenados em meio seco, no escuro e à temperatura ambiente, durante uma hora.

Os testes de microdureza Knoop (KH) foram realizados utilizando um microdurómetro (Duramin, Struers, DK-2750, Dallerup, Dinamarca), com um tempo de penetração de 10 segundos e uma carga de 490,6 mN. Foram realizadas



**Figura 1 – Valores médios e desvios padrão de KH no topo dos espécimes para cada compósito. (Letras maiúsculas diferentes entre parêntesis indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos [p < 0,05]).**

**Tabela 2 – Valores médios (desvio padrão) de KH no topo e na base dos espécimes e rácio de microdureza de acordo com cada situação experimental (n = 5)**

| Compósito           | Tempo de exposição | Distância | Média KH topo (desvio padrão) | Média KH base (desvio padrão) | Rácio |
|---------------------|--------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| GrandioSO           | Fabricante         | 0 mm      | 60,6 (5,48)                   | 53,3 (3,57)                   | 0,88  |
|                     |                    | 2 mm      | 63,0 (3,49)                   | 50,5 (4,00)                   | 0,83  |
|                     |                    | 4 mm      | 55,7 (8,78)                   | 42,5 (5,65)                   | 0,70  |
|                     |                    | 6 mm      | 54,3 (3,15)                   | 39,6 (2,95)                   | 0,65  |
|                     | 2 x fabricante     | 0 mm      | 66,3 (2,83)                   | 64,8 (2,35)                   | 1,07  |
|                     |                    | 2 mm      | 63,1 (6,43)                   | 54,9 (4,97)                   | 0,91  |
|                     |                    | 4 mm      | 55,2 (4,62)                   | 50,6 (4,97)                   | 0,83  |
|                     |                    | 6 mm      | 54,8 (2,96)                   | 42,8 (5,54)                   | 0,71  |
| Filtek Supreme XTE  | Fabricante         | 0 mm      | 54,0 (6,84)                   | 48,8 (3,37)                   | 0,90  |
|                     |                    | 2 mm      | 53,0 (4,33)                   | 49,6 (4,91)                   | 0,92  |
|                     |                    | 4 mm      | 51,1 (3,42)                   | 46,5 (11,56)                  | 0,86  |
|                     |                    | 6 mm      | 46,0 (4,22)                   | 31,7 (5,66)                   | 0,59  |
|                     | 2 x fabricante     | 0 mm      | 55,9 (2,00)                   | 52,0 (6,25)                   | 0,96  |
|                     |                    | 2 mm      | 54,4 (3,15)                   | 48,1 (6,82)                   | 0,89  |
|                     |                    | 4 mm      | 48,4 (3,22)                   | 43,1 (3,10)                   | 0,80  |
|                     |                    | 6 mm      | 47,1 (3,23)                   | 40,9 (7,83)                   | 0,76  |
| Filtek Silorane     | Fabricante         | 0 mm      | 41,6 (1,04)                   | 34,2 (1,86)                   | 0,82  |
|                     |                    | 2 mm      | 42,7 (1,09)                   | 31,0 (2,51)                   | 0,75  |
|                     |                    | 4 mm      | 35,5 (2,65)                   | 28,7 (2,70)                   | 0,69  |
|                     |                    | 6 mm      | 33,0 (3,06)                   | 31,0 (2,82)                   | 0,75  |
|                     | 2 x fabricante     | 0 mm      | 41,5 (1,77)                   | 36,2 (2,20)                   | 0,87  |
|                     |                    | 2 mm      | 42,2 (2,51)                   | 33,3 (2,08)                   | 0,80  |
|                     |                    | 4 mm      | 40,1 (2,22)                   | 33,3 (1,85)                   | 0,80  |
|                     |                    | 6 mm      | 38,0 (2,84)                   | 29,7 (2,35)                   | 0,71  |
| Herculite XRV Ultra | Fabricante         | 0 mm      | 36,2 (1,36)                   | 32,8 (2,20)                   | 0,91  |
|                     |                    | 2 mm      | 38,9 (0,65)                   | 31,9 (1,60)                   | 0,88  |
|                     |                    | 4 mm      | 35,2 (2,10)                   | 25,6 (1,96)                   | 0,71  |
|                     |                    | 6 mm      | 33,4 (1,61)                   | 22,7 (3,01)                   | 0,63  |
|                     | 2 x fabricante     | 0 mm      | 37,8 (1,25)                   | 32,1 (4,02)                   | 0,89  |
|                     |                    | 2 mm      | 37,4 (2,24)                   | 30,3 (1,52)                   | 0,84  |
|                     |                    | 4 mm      | 34,9 (1,68)                   | 30,3 (1,71)                   | 0,84  |
|                     |                    | 6 mm      | 33,5 (2,22)                   | 26,3 (3,63)                   | 0,73  |

3 indentações em cada superfície, com uma distância de 0,5 mm entre elas, e o seu valor médio foi utilizado como valor de referência da KH da respetiva superfície.

Para cada situação experimental foi calculado o rácio de microdureza dividindo o KH médio obtido na base dos espécimes pelo KH médio obtido no topo dos espécimes fabricados com o respetivo compósito em condições ideais, isto é, tempo de exposição indicado pelo fabricante e distância de 0 mm entre a fonte de luz e o topo do espécime. Valores iguais ou superiores a 0,8 foram considerados refletir uma correta correta polimerização da totalidade do compósito com a respetiva condição experimental<sup>7,25,27,29</sup>.

Após verificação da falta de normalidade de distribuição da amostra (teste de Kolmogorov-Smirnov), os dados relativos à microdureza obtidos no topo dos espécimes foram analisados com testes não paramétricos, segundo Kruskal-Wallis e Mann-Whitney com correção de Bonferroni, utilizando o software IBM SPSS Statistics, versão 21 (IBM Corp., Nova Iorque, EUA). O nível de significância estatística foi fixado em  $\alpha = 0,05$ .

## Resultados

Os valores médios de KH no topo variaram entre 33,0 KH (Filtek Silorane, 6 mm, fabricante) e 66,3 KH (GrandioSO, 0 mm, 2 x

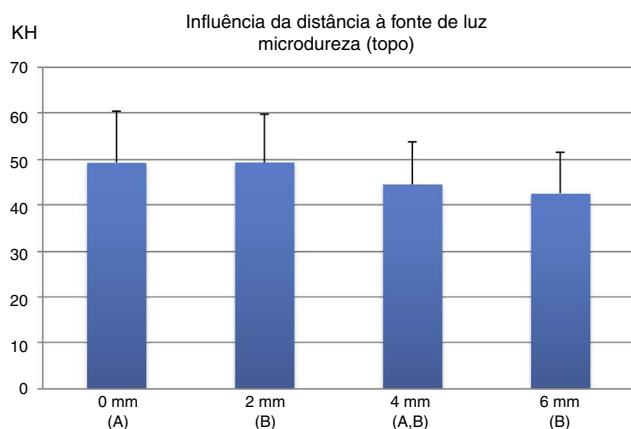
fabricante). Na base dos espécimes, os valores médios variaram entre 22,7 KH (Herculite XRV Ultra, 6 mm, fabricante) e 64,8 KH (GrandioSO, 0 mm, 2 x fabricante) (tabela 2).

A análise dos dados permitiu observar uma influência estatisticamente significativa ( $p < 0,001$ ) do tipo de compósito sobre a KH do topo. Os valores obtidos com o GrandioSO e o Filtek Supreme XTE foram estatisticamente ( $p < 0,001$ ) mais elevados que os obtidos com o Filtek Silorane e o Herculite XRV (fig. 1).

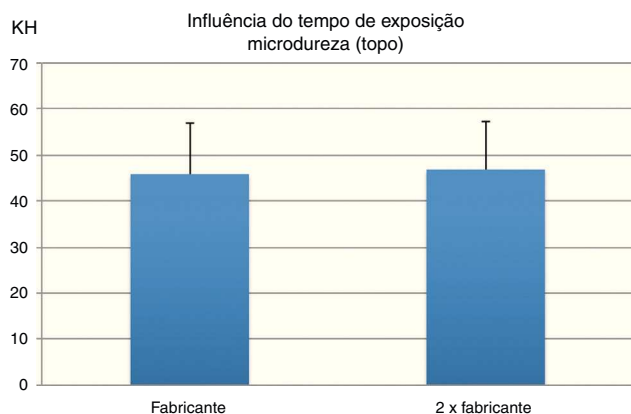
Apesar da distância da superfície do compósito à fonte de luz também ter influenciado de forma estatisticamente significativa ( $p = 0,003$ ) os resultados, apenas o aumento da distância para 6 mm fez diminuir a KH de forma estatisticamente significativa ( $p = 0,024$ ) relativamente aos valores obtidos com a distância de 0 mm recomendada pelo fabricante (fig. 2).

O tempo de exposição à luz foi o único fator em estudo que não influenciou a KH do topo ( $p = 0,457$ ) (fig. 3).

No entanto, apesar de não influenciar a microdureza no topo dos discos de compósito, o aumento do tempo de exposição à luz permitiu obter um rácio de microdureza igual ou superior a 0,80 em algumas situações experimentais em que tal não tinha sido conseguido utilizando o tempo de exposição indicado pelo fabricante. Este aumento



**Figura 2 – Valores médios e desvios padrão de KH no topo dos espécimes de acordo com a distância da fonte de luz ao compósito. (Letras maiúsculas diferentes entre parêntesis indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos [ $p < 0,05$ ]).**



**Figura 3 – Valores médios e desvios padrão de KH no topo dos espécimes de acordo com o tempo de exposição à luz. (Não se verificaram diferenças estatisticamente significativas [ $p > 0,05$ ] entre os tempos de exposição).**

permitiu que, com uma distância de até 4 mm à fonte luminosa, fosse obtida uma correta polimerização de todos os compósitos estudados. O aumento da distância da fonte de luz para 6 mm implicou que nos 4 compósitos estudados não fosse obtida uma correta polimerização na base dos espécimes, independentemente do tempo de exposição utilizado (tabela 2).

## Discussão

Neste estudo, foi analisada a influência da distância da fonte de luz ao compósito e da duplicação do tempo de fotopolimerização na microdureza e, através da determinação do rácio de microdureza, na capacidade de polimerização de blocos de compósito com 2 mm de espessura.

Para o mesmo compósito tem sido encontrada uma correlação entre o grau de conversão, indicador da capacidade de polimerização e a microdureza. Isto é, quanto maior o

grau de conversão, maior a microdureza desse compósito<sup>17,30</sup>. No entanto, a utilização da microdureza para a comparação da eficácia de polimerização de diferentes compósitos não deve ser efetuada. A microdureza é também influenciada por fatores intrínsecos do próprio compósito<sup>2,24,31</sup>. Para comparar a eficácia de polimerização de diferentes compósitos deverá ser usado o rácio de microdureza, sendo que tem sido estabelecido que a microdureza da base deve representar pelo menos 80% da microdureza do topo (rácio = 0,80)<sup>7,25</sup>.

Após o seu fabrico, e antes dos testes de microdureza, os espécimes foram armazenados no escuro durante uma hora porque a reação de polimerização não se restringe ao período de tempo em que ocorre a exposição luminosa. Após este período dá-se um fenómeno de polimerização pós-irradiação e a reação prossegue rapidamente na primeira hora e a um ritmo mais lento durante as 24 horas seguintes, traduzindo-se num aumento da microdureza<sup>29</sup>. O armazenamento foi feito no escuro para garantir que a luz não interferia na polimerização pós-irradiação e em meio seco de modo a limitar possíveis alterações na resina composta provocadas pela ação de agentes de armazenamento<sup>32,33</sup>. O meio seco parece ser a maneira mais correta de estudar a microdureza das camadas mais profundas dos compósitos, uma vez que ficam excluídos fatores que podem alterar as superfícies dos espécimes, nomeadamente a superfície mais afastada da fonte luminosa que clinicamente, por se encontrar no interior da cavidade, não sofrerá de uma maneira tão acentuada os efeitos do meio oral<sup>27</sup>.

Os resultados obtidos mostraram que a microdureza foi influenciada pela distância da fonte de luz e pelo tipo de compósito. O tempo de exposição à luz não apresentou influência sobre os valores de microdureza.

Tal como em estudos anteriores, diferentes compósitos apresentaram diferentes valores de microdureza<sup>2,14,21,27,32,34</sup>. As diferenças de KH encontradas poderão ser justificadas pela diferente composição dos compósitos, particularmente no que se refere ao tamanho, distribuição e volume das partículas de carga e à composição química da matriz orgânica. Os compósitos com menor percentagem de partículas de carga por volume, Filtek Silorane (55%) e Herculite XRV Ultra (55,7%), apresentaram menor microdureza que os compósitos com maior percentagem de carga, o Filtek Supreme XTE (63,3%) e o GrandioSO (73%). Estes resultados estão de acordo com estudos anteriores que também relacionam um aumento da microdureza das resinas compostas com o aumento da percentagem de partículas de carga<sup>5,34</sup>. Por outro lado, a presença de partículas de compósito pré-polimerizadas está normalmente relacionada com a presença de uma menor percentagem de partículas de carga inorgânica que poderá contribuir para valores de microdureza mais baixos<sup>34</sup>. No presente estudo, o Herculite XRV Ultra foi o único dos compósitos estudados que possui partículas pré-polimerizadas, facto que poderá justificar a sua menor microdureza. O Filtek Silorane é um compósito cuja matriz e mecanismo de polimerização diferem significativamente dos restantes compósitos utilizados neste estudo. Estudos mostraram que a microdureza do Filtek Silorane foi inferior à de compósitos à base de metacrilatos, o que pode ser explicado em parte pelo seu menor volume de carga<sup>21,35-38</sup>. Além disso, trabalhos com espectroscopia de infravermelhos revelaram uma tendência para



o Filtek Silorane mostrar um grau de conversão inferior ao de compósitos à base de metacrilatos, o que pode ser devido à tetrafuncionalidade das moléculas de silorano. Em monómeros multifuncionais, como o silorano, quando um grupo funcional reage com outro, a molécula fica retida na matriz em formação e a reatividade dos restantes terminais parece diminuir<sup>35,38</sup>.

Como a distância à fonte luminosa influenciou a KH no topo dos discos de compósito, a primeira hipótese em estudo foi rejeitada. Apesar das diferenças na KH no topo não serem muito expressivas, a análise do rácio de microdureza permitiu verificar que o aumento da distância se traduziu numa menor capacidade de polimerização da base dos espécimes. Com o aumento da distância e a 2 mm de profundidade, o número de fótons disponíveis para interagir com o iniciador é limitado pela absorção e dispersão da luz pelas partículas de carga do compósito suprajacente, causando uma diminuição mais acentuada da intensidade da luz relativamente à superfície, que se traduz em menor grau de polimerização e menor microdureza<sup>1,18</sup>.

A segunda hipótese em estudo não pôde ser rejeitada porque a duplicação do tempo de fotopolimerização não se traduziu numa diferença significativa dos valores de microdureza da superfície de topo dos discos de compósito. De uma maneira geral, quanto maior a quantidade de energia fornecida ao compósito, maior o grau de conversão do compósito e portanto maior a sua microdureza. Uma vez que a quantidade de energia fornecida pode ser calculada multiplicando a intensidade da radiação luminosa pelo tempo de exposição do compósito à fonte de luz, seria de esperar que o aumento do tempo de exposição contribuisse para um aumento da microdureza do compósito. No entanto, tal como sucedeu no presente estudo, esse aumento nem sempre se verifica<sup>39</sup>. O facto de não se terem verificado diferenças na microdureza da superfície de topo obtida com as distâncias de 0, 2 e 4 mm, indica uma correta polimerização desta superfície com o tempo de exposição indicado pelo fabricante e, portanto, um aumento do tempo de exposição parece tornar-se desnecessário. Por outro lado, para uma distância de 6 mm, o aumento do tempo de exposição para o dobro do indicado pelo fabricante não se revelou uma forma eficaz de compensar a diminuição da intensidade da radiação luminosa que atinge a superfície de topo dos espécimes<sup>18,40</sup>. No entanto, a duplicação do tempo de exposição parece ser uma medida importante para garantir uma correta polimerização da superfície do compósito mais afastada da fonte de luz, permitindo que com a fonte luminosa a 4 mm do compósito seja possível obter uma correta polimerização da totalidade do incremento de 2 mm de todos os compósitos.

Tal como em todos os estudos *in vitro*, os resultados obtidos neste estudo deverão ser lidos com algum cuidado e a sua extrapolação clínica deverá ser feita com algumas reservas. Estudos futuros deverão avaliar a influência do tipo de fotopolimerizador e da variação da intensidade da luz.

## Conclusões

A aplicação da fonte de luz diretamente sobre a superfície do compósito durante o tempo recomendado pelo fabricante

permite uma correta polimerização de incrementos de 2 mm de todos os compósitos estudados.

O aumento da distância da fonte luminosa para 4 mm não diminui a microdureza da superfície de compósito mais próxima da fonte de luz. No entanto, na maioria dos compósitos estudados, o aumento da distância para 4 mm obriga a uma duplicação do tempo de exposição de forma a garantir uma eficaz de polimerização da superfície mais afastada da luz.

O aumento da distância da luz para 6 mm implicou uma deficiente polimerização da base de todos os compósitos estudados.

## Responsabilidades éticas

**Proteção de pessoas e animais.** Os autores declaram que para esta investigação não se realizaram experiências em seres humanos e/ou animais.

**Confidencialidade dos dados.** Os autores declaram que não aparecem dados de pacientes neste artigo.

**Direito à privacidade e consentimento escrito.** Os autores declaram que não aparecem dados de pacientes neste artigo.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à 3M, à VOCO e à Kerr a cedência dos respetivos materiais para este estudo.

## BIBLIOGRAFIA

1. Pires JA, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ Jr. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int.* 1993;24:517-21.
2. Thomé T, Steagall W Jr, Tachibana A, Braga SRM, Turbino ML. Influence of the distance of the curing light source and composite shade on hardness of two composites. *J Appl Oral Sci.* 2007;15:486-91.
3. Aguiar FHB, Lazzari CR, Lima DANL, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Effect of light curing tip distance and resin shade on microhardness of a hybrid resin composite. *Braz Oral Res.* 2005;19:302-6.
4. Lindberg A, Peutzfeldt A, van Dijken JWV. Effect of power density of curing unit, exposure duration, and light guide distance on composite depth of cure. *Clin Oral Investig.* 2005;9:71-6.
5. Eliades GC, Vougiouklakis GJ, Caputo AA. Degree of double bond conversion in light-cured composites. *Dent Mater.* 1987;3:19-25.
6. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res.* 1988;67:932-7.
7. Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu TM, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. *Oper Dent.* 2008;33:408-12.

8. Erickson RL, Barkmeier WW, Halvorson RH. Curing characteristics of a composite - part 1: Cure depth relationship to conversion, hardness and radiant exposure. *Dent Mater.* 2014;30:e125-33.
9. Davidson CL, de Gee AJ. Light-curing units, polymerization, and clinical implications. *J Adhes Dent.* 2000;2:167-73.
10. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dent Mater.* 2002;18:463-9.
11. Nomoto R, Asada M, McCabe JF, Hirano S. Light exposure required for optimum conversion of light activated resin systems. *Dent Mater.* 2006;22:1135-42.
12. Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Influence of irradiant energy on degree of conversion, polymerization rate and shrinkage stress in an experimental resin composite system. *Dent Mater.* 2008;24:1164-8.
13. Emami N, Söderholm K-JM. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured resin composites. *Eur J Oral Sci.* 2003;111:536-42.
14. Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G. The effect of irradiation distance on microhardness of resin composites cured with different light curing units. *Eur J Dent.* 2010;4:440-6.
15. Hansen EK, Asmussen E. Visible-light curing units: Correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *Acta Odontol Scand.* 1997;55:162-6.
16. Price RB, Dérand T, Sedarous M, Andreou P, Loney RW. Effect of distance on the power density from two light guides. *J Esthet Dent.* 2000;12:320-7.
17. Rode KM, Kawano Y, Turbino ML. Evaluation of curing light distance on resin composite microhardness and polymerization. *Oper Dent.* 2007;32:571-8.
18. Rueggeberg FA, Jordan DM. Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont.* 1993;6:364-70.
19. Erickson RL, Barkmeier WW. Curing characteristics of a composite. Part 2: The effect of curing configuration on depth and distribution of cure. *Dent Mater.* 2014;30:e134-45.
20. Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dent Mater.* 2006;22:988-94.
21. Mousavinasab SM, Barekatain M, Sadeghi E, Nourbakhshian F, Davoudi A. Evaluation of light curing distance and mylar strips color on surface hardness of two different dental composite resins. *Open Dent J.* 2014;8:144-7.
22. Prati C, Chersoni S, Montebugnoli L, Montanari G. Effect of air, dentin and resin-based composite thickness on light intensity reduction. *Am J Dent.* 1999;12:231-4.
23. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent.* 1994;19:26-32.
24. Asmussen E. Restorative resins: Hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res.* 1982;90:484-9.
25. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent.* 2004;29:698-704.
26. Hubbezoğlu I, Bolayir G, Doğan OM, Doğan A, Ozer A, Bek B. Microhardness evaluation of resin composites polymerized by three different light sources. *Dent Mater J.* 2007;26:845-53.
27. Borges A, Chasqueira F, Portugal J. Grau de conversão de resinas compostas. Influência do método de fotopolimerização. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac.* 2009;50:197-203.
28. Catelan A, Mainardi Mdo C, Soares GP, de Lima AF, Ambrosano GM, Lima DA, et al. Effect of light curing protocol on degree of conversion of composites. *Acta Odontol Scand.* 2014;1-5.
29. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. *Dent Mater.* 1992;8:299-304.
30. DeWald JP, Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res.* 1987;66:727-30.
31. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater.* 1985;1:11-4.
32. Uhl A, Michaelis C, Mills RW, Jandt KD. The influence of storage and indenter load on the Knoop hardness of dental composites polymerized with LED and halogen technologies. *Dent Mater.* 2004;20:21-8.
33. De Jong LCG, Opdam NJM, Bronkhorst EM, Roeters JJM, Wolke JGC, Geitenbeek B. The effectiveness of different polymerization protocols for class II composite resin restorations. *J Dent.* 2007;35:513-20.
34. Kim K-H, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent.* 2002;87:642-9.
35. Porto IC, de Aguiar FH, Brandt WC, Liporoni PC. Mechanical and physical properties of silorane and methacrylate-based composites. *J Dent.* 2013;41:732-9.
36. Fonseca AS, Gerhardt KM, Pereira GD, Sinhorette MA, Schneider LF. Do new matrix formulations improve resin composite resistance to degradation processes? *Braz Oral Res.* 2013;27:410-6.
37. Yesilyurt C, Yoldas O, Altintas SH, Kusgoz A. Effects of food-simulating liquids on the mechanical properties of a silorane-based dental composite. *Dent Mater J.* 2009;28:362-7.
38. Kusgoz A, Ülker M, Yesilyurt C, Yoldas OH, Ozil M, Tanriver M. Silorane-based composite: Depth of cure, surface hardness, degree of conversion, and cervical microleakage in Class II cavities. *J Esthet Restor Dent.* 2011;23:324-35.
39. Price RBT, Felix CA, Andreou P. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. *Biomaterials.* 2004;25:4465-77.
40. Corciolani G, Vichi A, Davidson CL, Ferrari M. The influence of tip geometry and distance on light-curing efficacy. *Oper Dent.* 2008;33:325-31.