CARLOS ALBERTO KENJI SHIMOKAWA

**Influência de características de equipamentos fotoativadores e tempos de
fotoativação na polimerização de resinas compostas *bulk fill***

São Paulo

2017

CARLOS ALBERTO KENJI SHIMOKAWA

**Influência de características de equipamentos fotoativadores e tempos de
fotoativação na polimerização de resinas compostas *bulk fill***

Versão Corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia (Dentística) para obter o título de Doutor em Ciências.

Orientador: Profa. Dra. Míriam Lacalle Turbino

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Shimokawa, Carlos Alberto Kenji.

Influência de características de equipamentos fotoativadores e tempos de fotoativação na polimerização de resinas compostas *bulk fill* / Carlos Alberto Kenji Shimokawa ; orientador Miriam Lacalle Turbino. - São Paulo, 2017.

91 p. : fig., tab., graf.; 30 cm.

Tese (Doutorado) -- Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração: Dentística. -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão corrigida

1. Luzes de cura dentária. 2. Polimerização. 3. Resinas compostas. 4. Dureza. I. Turbino, Miriam Lacalle. II. Título.

Shimokawa CAK. Influência de características de equipamentos fotoativadores e tempos de fotoativação na polimerização de resinas compostas *bulk fill*. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em: 12 / 06 /2017

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). Míriam Lacalle Turbino

Instituição: FOU SP

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). Luis Carlos Belan

Instituição: FUNDECTO

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). Roberto Ruggiero Braga

Instituição: FOU SP

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). Marcelo Giannini

Instituição: FOP-UNICAMP

Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). Kátia Martins Rode

Instituição: Externo

Julgamento: Aprovado

Dedico este trabalho aos meus pais, **Albertino e Vera**, que nunca mediram esforços para a concretização dos sonhos e objetivos de seus filhos. Obrigado por estarem sempre presentes e tornarem essa conquista possível.

Ao meu irmão, **Jun**, que sempre me apoia e incentiva a ir mais longe. Obrigado pela sua amizade e por estar ao meu lado. Podemos contar um com o outro para o que der e vier, *my brother*.

Aos meus **familiares e amigos**, que torcem por mim e vibram a cada conquista alcançada.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À minha orientadora, **Prof^a. Dr^a. Míriam Lacalle Turbino**, por todos os ensinamentos, pelo apoio, pela amizade e por todos os conselhos. Obrigado pela confiança depositada em mim durante todos os anos de orientação, desde a graduação, durante a monitoria e iniciação científica. Por estar sempre disponível para me ajudar e por toda a atenção e dedicação. Agradeço pela oportunidade de ter sido seu orientado durante todo esse tempo. Muito obrigado!

“Muitos Mestres passam por nossa vida,
mediando o conhecimento,
abrindo portas, mostrando caminhos!
Os anos passam...
O conhecimento é acumulado,
algum conhecimento esquecido,
outros ultrapassados,
mas os valores são eternos
e a lembrança de alguns mestres permanece.”

Neida Rocha

ACKNOWLEDGEMENT

My most sincere thanks go to **Dr. Richard Price**, my advisor and mentor at Dalhousie University. Thank you for receiving me at your laboratory, even without knowing me, for teaching me how to be a good researcher, for all the advices, for all the help and to push me to always do my best. I admire your passion for research and for teaching. I hope to, one day, be as good as you are, you are an example to me. I am thankful for the opportunity to be your student. I will always remember to “shine on, shine off”. Thank you!

AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo**, na pessoa de seu diretor, **Prof. Dr. Waldyr Antônio Jorge**.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, à **Universidade de São Paulo**, ao **Santander** e à **Dalhousie University**, pelo apoio financeiro concedido durante o desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Dentística da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo: **Prof^a. Dr^a. Adriana Bona Matos**, **Prof^a. Dr^a. Ana Cecília Corrêa Aranha**, **Prof. Dr. Antônio Alberto de Cara**, **Prof. Dr. Carlos de Paula Eduardo**, **Prof^a. Dr^a. Eliza Maria Agueda Russo**, **Prof. Dr. Glauco Fioranelli Vieira**, **Prof^a. Dr^a. Luciana Fávaro Francisconi dos Rios**, **Prof^a. Dr^a. Márcia Martins Marques**, **Prof^a. Dr^a. Maria Ângela Pita Sobral**, **Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Cerqueira Luz**, **Prof^a. Dr^a. Margareth Oda**, **Prof^a. Dr^a. Patrícia Moreira de Freitas** e **Prof^a. Dr^a. Taís Scaramucci Forlin**, por todos os ensinamentos e por terem participado da minha formação profissional.

Ao **Prof. Dr. Roberto Ruggiero Braga** e ao **Prof. Dr. Luis Carlos Belan**, por toda a ajuda durante o desenvolvimento do projeto dessa pesquisa.

Ao **Prof. Dr. Marcelo Giannini** e ao **Prof. Dr. Carlos José Soares**, pela ajuda, pelos conselhos, pela oportunidade de trabalhar junto com vocês e pelos momentos de descontração em Halifax.

À **Profa Dra. Kátia Martins Rode** pela amizade e colaboração na correção desse trabalho.

Ao **Prof. Dr. Glauco Fioranelli Vieira**, por todos os ensinamentos e risadas durante as clínicas de Pós-graduação.

Aos funcionários do departamento de Dentística da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo: **Aldo, David, Débora, Leandro, Selma e Sônia**, por toda a ajuda durante o curso.

A todos os **amigos da pós-graduação**, por todos os ensinamentos, pelas risadas, pela boa convivência e pela companhia.

Aos meus amigos **Brunna, Eric, Gabriela, Paula, Sávio e Tamile**, obrigado por todos os momentos compartilhados durante essa etapa. Vocês tornaram meus dias melhores e mais alegres. Obrigado por todo o aprendizado, por todas as conversas, pelos momentos de descontração, pelos momentos sérios, pelas viagens. Sei que, mesmo que em cantos diferentes, estaremos sempre juntos. Vocês fazem parte da minha vida e torço muito por todos vocês.

Ao amigo **Fernando Hanashiro**, que me incentivou a cursar a Pós-Graduação.

À **Glauci Damasio Fidélis**, da biblioteca da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, por toda a ajuda e atenção durante a escrita deste trabalho.

*I would like to thank the **Faculty of Dentistry of the Dalhousie University**,
for receiving me and for giving all the support that I needed during my internship.*

*I would also like to thank **Jessie Harlow** and **Braden Sullivan** for all the help
and for the friendship during my internship at Dalhousie University. I learned a lot with
you.*

A todos que direta ou indiretamente colaboraram com o desenvolvimento
desta tese.

Muito obrigado!

“Se era necessário eu
Só saberei com as consequências que virão
Mas nada vai mudar
Continuaremos desejando
Que nunca apague a luz”

Scalene

RESUMO

Shimokawa CAK. Influência de características de equipamentos fotoativadores e tempos de fotoativação na polimerização de resinas compostas *bulk fill* [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2017. Versão Corrigida.

Os equipamentos fotoativadores apresentam diferentes características e elas podem influenciar na polimerização de restaurações em resina composta. O objetivo desse estudo foi avaliar as características de quatro equipamentos fotoativadores e verificar sua influência na polimerização de duas resinas compostas *bulk fill*. Os equipamentos fotoativadores Bluephase 20i (Ivoclar Vivadent), Celalux 3 (Voco), Elipar DeepCure-S (3M ESPE) e Valo Grand (Ultradent) foram avaliados quanto ao diâmetro da ponteira, à potência, à irradiância, ao espectro de emissão e ao perfil do feixe de luz, e utilizados na fotoativação das resinas compostas Filtek Bulk Fill Posterior Restorative – A2 (3M ESPE) e Tetric EvoCeram Bulk Fill – IVA (Ivoclar Vivadent). Matrizes de Delrin® brancas foram utilizadas para confecção de espécimes de 12 mm de diâmetro e 4 mm de espessura, sendo a dureza nas superfícies de topo e fundo desses espécimes avaliadas com 97 endentações por superfície, no centro e em todas as direções. Uma matriz de dente foi confeccionada para a avaliação da dureza transversal de restaurações de 12 mm de largura e 4 mm de profundidade, sendo feitas endentações no centro e nas regiões mesial e distal (4,5 mm do centro), a cada 0,5 mm de profundidade. Após os ensaios de microdureza, os espécimes foram imersos em Tetrahidrofurano por 24 horas. A transmissão de luz através dos espécimes também foi avaliada. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente com testes de ANOVA e Tukey, com nível de significância de 5%, e teste t. Os valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com auxílio das matrizes de Delrin® mostram que os fatores resina composta e superfície mensurada exercem influência sobre os resultados ($p < 0,05$). A interação entre o fator equipamento fotoativador e a região das endentações também influenciou os resultados, sendo que o uso do Valo Grand não resultou em diferenças estatisticamente significantes entre os valores mensurados no centro e na região externa ($p \geq 0,05$). Quando o Celalux 3 foi utilizado, houve diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos nas regiões

central e externa ($p < 0,05$). Os resultados de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a matriz feita com uso de dente humano mostraram diferenças estatisticamente significantes entre 10 e 20 segundos de fotoativação ($p < 0,05$). O fator resina composta também exerceu influência sobre os resultados. Houve diferença estatisticamente significativa entre o centro e as regiões mesial e distal quando todos os equipamentos fotoativadores foram utilizados ($p < 0,05$). Também foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos nas caixas mesial e distal dos espécimes ($p < 0,05$). Os resultados de transmissão de luz mostraram que pouca luz violeta chega ao fundo dos espécimes e a posição e o tamanho da ponteira dos equipamentos fotoativadores influenciam na irradiância da luz que chega no fundo das caixas proximais de restaurações MOD. Os equipamentos fotoativadores apresentaram diferenças, sendo que elas, associadas à diferentes protocolos de fotoativação, influenciaram na dureza de restaurações confeccionadas com resinas compostas *bulk fill*.

Palavras-chave: Luz de cura dentária. Polimerização. Resinas compostas. Dureza.

ABSTRACT

Shimokawa CAK. Influence of characteristics of light curing units and photoactivation times on the polymerization of bulk fill composite resins [thesis]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2017. Versão Corrigida.

Light curing units can present different characteristics and they can influence the polymerization of composite resin restorations. The aim of this study was to analyze the characteristics of four light curing units and verify their influence on the polymerization of two bulk fill composite resins. The light curing units Bluephase 20i (Ivoclar Vivadent), Celalux 3 (Voco), Elipar DeepCure-S (3M ESPE) and Valo Grand (Ultradent) were analyzed regarding their tip diameter, radiant power, irradiance, emission spectrum and light beam profile, and used for the photoactivation of the composite resins Filtek Bulk Fill Posterior Restorative – A2 (3M ESPE) and Tetric EvoCeram Bulk Fill – IVA (Ivoclar Vivadent). White Delrin® matrices were used for the confection of 12 mm diameter and 4 mm depth specimens, being their hardness measured at the top and bottom surfaces, with 97 indents per surface, at the center and all the directions. One matrix, made using human tooth, was used for the confection of 12mm wide and 4 mm depth restorations, in which the transversal hardness was measured. Indents were made at the center and the mesial and distal regions (4,5 mm from the center) of the restorations, at every 0,5 mm in depth. After the microhardness tests, the specimens were immersed in Tetrahydrofuran for 24 hours. The light transmission through the specimens was also analyzed. The obtained data was statistically analyzed with the ANOVA and Tukey tests, with a 5% significance level, and t test. The hardness values measured at the specimen made with the Delrin® matrices showed that the factors composite resin and surface influenced the results ($p < 0,05$). The interaction between the light curing unit and the region of the indents also influenced the results, when the Valo Grand was used, there was no statistically significant difference between center and the external regions ($p \geq 0,05$). When the Celalux 3 was used, there was a statistically significant difference between the central and external regions ($p < 0,05$). The hardness results obtained with the specimen made using the matrix of human tooth showed statistically significant differences between the 10 and 20 second photoactivation times ($p < 0,05$). The factor

composite resin also influenced the results. There was a statistically significant difference between the center and the mesial and distal regions when all the light curing units were used ($p < 0,05$). There was also a statistically significant difference between the values measured on the mesial and distal boxes of the specimen ($p < 0,05$). The light transmission results showed that little violet light reaches the bottom of the specimens and the position and the light curing unit's tip diameters influence the irradiance of light that reaches the bottom of the proximal boxes of MOD restorations. The light curing units showed different characteristics and they, associated to different photoactivation protocols, influence the hardness of bulk fill composite resin restorations.

Keywords: Dental curing lights. Polymerization. Composite resins. Hardness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 4.1 – Diferenças entre diâmetro externo e diâmetro que efetivamente emite luz de dois equipamentos fotoativadores 36
- Figura 4.2 – Esfera integradora utilizada para a avaliação da potência e do espectro de emissão dos equipamentos fotoativadores..... 37
- Figura 4.3 – Beam Profiler. Tela holográfica de 40° onde o feixe de luz era capturado 38
- Figura 4.4 – Espécime confeccionado com a matriz de Delrin® branca..... 38
- Figura 4.5 – Microdurômetro HMV 123 (Mitutoyo) utilizado nos ensaios de microdureza. A mesa feita sob medida do microdurômetro possui uma canaleta que permitia o posicionamento dos espécimes sempre na mesma orientação..... 39
- Figura 4.6 – Esquema representativo das posições das 97 endentações feitas nas superfícies de topo e fundo dos espécimes. O círculo maior representa as margens do espécime (diâmetro = 12 mm). Uma endentação foi feita no centro de cada círculo menor..... 40
- Figura 4.7 – Confeção da matriz feita com uso de dente humano e confecção de um espécime com essa matriz..... 41
- Figura 4.8 – Esquemas demonstrativos das dimensões dos espécimes confeccionados com auxílio da matriz feita com uso de dente humano e das posições das endentações realizadas para o teste de microdureza Knoop. a- Baixa resolução. b- Alta resolução 42
- Figura 4.9 – Esfera integradora FOIS-1 (Ocean Optics). Transmissão de luz em tempo real sendo mensurada enquanto o espécime é fotoativado 43
- Figura 4.10 – Confeção da matriz feita com uso de dente humano, utilizada na mensuração da distribuição da luz que chega no fundo das caixas proximais de restaurações MOD..... 44

Figura 4.11 – Beam profiler. O molde confeccionado com uso de dente humano foi utilizado no lugar da tela holográfica de 40°	45
Gráfico 5.1 – Espectro de emissão dos equipamentos fotoativadores. Os valores de potência (mW) e os picos de comprimento de onda (nm) estão descritos	47
Figura 5.1 – Perfis dos feixes de luz capturados com o beam profiler a uma distância de 0 mm da tela holográfica de 40°	48
Figura 5.2 – Perfis dos feixes de luz capturados com o beam profiler a uma distância de 2 mm da tela holográfica de 40°	49
Figura 5.3 – Mapas de dureza obtidos com os valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a resina Filtek Bulk Fill Posterior Restorative	50
Figura 5.4 – Mapas de dureza obtidos com os valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a resina Tetric EvoCeram Bulk Fill...	51
Figura 5.5 – Fotos dos espécimes confeccionados com as matrizes de Delrin® utilizando a resina composta Filtek Bulk Fill Posterior Restorative após a imersão em solvente, organizadas ao lado dos mapas de dureza referentes a suas respectivas superfícies (topo e fundo)	54
Figura 5.6 – Fotos dos espécimes confeccionados com as matrizes de Delrin® utilizando a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill após a imersão em solvente, organizadas ao lado dos mapas de dureza referentes a suas respectivas superfícies (topo e fundo).....	55
Figura 5.7 – Mapas de dureza feitos a partir dos valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a matriz confeccionada com o uso de dente humano utilizando a resina composta Filtek Bulk Fill Posterior Restorative	56
Figura 5.8 – Mapas de dureza feitos a partir dos valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a matriz confeccionada com o uso de dente humano utilizando a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill.....	57

Figura 5.9 - Fotos dos espécimes confeccionados com a resina composta Fitek Bulk Fill Posterior Restorative com auxílio da matriz feita com uso de dente humano após imersão em solvente ao lado dos respectivos mapas de dureza	60
Figura 5.10 - Fotos dos espécimes confeccionados com a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill com auxílio da matriz feita com uso de dente humano após imersão em solvente ao lado dos respectivos mapas de dureza	61
Gráfico 5.3 - Potência em tempo real que chega ao fundo dos espécimes confeccionados utilizando as matrizes de Delrin®.....	62
Gráfico 5.4 - Espectro de emissão da luz que alcança o fundo dos espécimes.	62
Figura 5.11 - Transmissão de luz através da matriz confeccionada com uso de dente humano utilizando a resina Filtek Bulk Fill Posterior Restorative	63
Figura 5.12 - Transmissão de luz através da matriz confeccionada com uso de dente humano utilizando a resina Tetric EvoCeram Bulk Fill.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Equipamentos fotoativadores, fabricantes e informações de irradiância (mW/cm ²), espectro de emissão (nm) e diâmetro da ponteira (mm) fornecidas por eles.....	35
Tabela 5.1 – Diâmetro externo, diâmetro interno, potência e irradiância dos equipamentos fotoativadores	47
Tabela 5.2 – Resultados da ANOVA para os fatores resina composta e superfície mensurada.	52
Tabela 5.3 – Médias e desvios-padrões dos resultados de dureza em cada uma das regiões dos espécimes e sua interação com os quatro equipamentos fotoativadores.....	53
Tabela 5.4 – Médias e os desvios-padrões referentes aos 2 mm de profundidade superficiais dos espécimes confeccionados a partir da matriz feita com o uso de dentes humanos.....	58
Tabela 5.5 – Resultados da ANOVA para os fatores tempo de fotoativação e resina composta.....	59
Tabela 5.6 – Resultados do teste t utilizado para comparar os valores de dureza obtidos nas caixas distal e mesial, considerando os 4 mm de profundidade.	59

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

°	graus
°C	graus Celsius
±	mais ou menos
≥	maior ou igual
<	menor
®	marca registrada
%	por cento
ANOVA	análise de variância
CCD	charge-coupled device
gf	gramas-força
ISO	International Standard Organization
LED	light emitting diode
nm	nanômetro
mW/cm ²	miliwatt por centímetro quadrado
mm	milímetro
MOD	mesio-ocluso-distal
n	número
s	segundos
v	versão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1	RESINAS COMPOSTAS	24
2.2	EQUIPAMENTOS FOTOATIVADORES.....	26
2.3	FOTOATIVAÇÃO DE RESINAS COMPOSTAS	29
2.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE POLIMERIZAÇÃO DE RESINAS COMPOSTAS	32
3	PROPOSIÇÃO.....	34
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1	ASPECTOS ÉTICOS.....	35
4.2	RESINAS COMPOSTAS E EQUIPAMENTOS FOTOATIVADORES.....	35
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS FOTOATIVADORES	36
4.4	MATRIZ DE DELRIN®	38
4.5	MATRIZ CONFECCIONADA COM USO DE DENTE HUMANO	40
4.6	TRANSMISSÃO DE LUZ ATRAVÉS DOS ESPÉCIMES	43
4.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
5	RESULTADOS	47
6	DISCUSSÃO.....	65
7	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS	73
	ANEXOS.....	83

1 INTRODUÇÃO

A confecção de restaurações em resina composta é uma prática frequente nos consultórios odontológicos, pois esse material torna possível o restabelecimento estético e funcional dos dentes. Outro fator que leva ao aumento da quantidade desse tipo de restauração é uma crescente preocupação com aspectos ambientais e biológicos em relação a produtos que possuem mercúrio em sua composição, como o amálgama de prata. Estudos têm sido estimulados para o aprimoramento e desenvolvimento de materiais restauradores livres de mercúrio.^{1, 2}

A evolução das resinas compostas tem possibilitado a confecção de restaurações satisfatórias, havendo estudos clínicos que comprovam sua qualidade como material restaurador.^{3, 4} As resinas podem, inclusive, ser utilizadas em dentes posteriores, já que as suas propriedades mecânicas assim o permitem.⁵ Entretanto, as restaurações que utilizam esse material são procedimentos que demandam tempo e têm técnica sensível, o que pode ser desconfortável para os pacientes e trabalhoso para os cirurgiões-dentistas. Tendo isso em vista, foi desenvolvida uma categoria de resinas compostas denominada resinas *bulk fill*, cuja inserção do material pode ser realizada em porção única nas cavidades a serem restauradas.

O uso das resinas *bulk fill* propõe a vantagem do menor risco de incorporação de bolhas ou contaminação entre os incrementos, quando comparado à técnica de inserção incremental. Outra vantagem é um menor tempo necessário para a confecção de uma restauração, resultando em maior conforto para o paciente e facilidade para o cirurgião-dentista. Entretanto, para cumprir todas as suas propostas, as resinas compostas *bulk fill* precisam garantir maior profundidade de polimerização e menores tensões de polimerização, quando comparadas às resinas compostas convencionais.

Os equipamentos fotoativadores também têm passado por diversos avanços tecnológicos, tornando assim disponíveis muitas opções de equipamentos, o que pode confundir os cirurgiões-dentistas em suas escolhas durante a prática clínica. Os equipamentos fotoativadores podem variar quanto à ponteira, ao espectro de emissão, à potência, à irradiância, ao perfil do feixe de luz.⁶ As diferentes características dos equipamentos fotoativadores e da luz que é emitida por eles podem levar a diferentes resultados na polimerização de restaurações em resina composta.⁷ Se o material for

insuficientemente polimerizado, ele pode apresentar menores propriedades mecânicas⁸ e uma menor biocompatibilidade.⁹ Sendo assim, a atenção com a interação entre a resina composta e a luz emitida pelos equipamentos fotoativadores é especialmente importante no caso das restaurações confeccionadas em resinas compostas do tipo *bulk fill*, já que os fabricantes dessas resinas garantem uma maior profundidade de polimerização.

A penetração da luz no corpo da restauração depende de diversos fatores, que variam de acordo com a composição do material restaurador e de características dos equipamentos fotoativadores, sendo que, se a luz não alcançar adequadamente o fundo de restaurações, a polimerização do material pode ser prejudicada.¹⁰ A profundidade de polimerização das resinas compostas do tipo *bulk fill* tem sido estudada,¹¹⁻¹³ mas levando em consideração a possibilidade da confecção de restaurações com o preenchimento de cavidades em porções únicas, a largura do feixe de luz e a qualidade da polimerização no sentido mesio-distal alcançada pelas resinas compostas em uma única fotoativação também precisa ser estudada. Alguns equipamentos fotoativadores disponíveis para o cirurgião-dentista apresentam o diâmetro de sua ponteira pequeno ou o seu feixe de luz é concentrado apenas no centro da ponteira.¹⁴ Isso não se apresentava como um problema quando considerávamos a técnica incremental, mas considerando a técnica de inserção em porção única, viabilizada pelas resinas *bulk fill*, essas características dos equipamentos fotoativadores podem ser relevantes, especialmente na confecção de restaurações MOD confeccionadas em dentes que apresentam uma grande distância mesio-distal, como os primeiros molares inferiores.

O espectro de emissão também pode influenciar na penetração da luz emitida pelos equipamentos fotoativadores nas restaurações em resina composta, sendo que comprimentos de onda na região de 460 nm (azul) possuem maior poder de penetração do que a luz com comprimentos de onda na região de 400 nm (violeta),¹⁵ e isso pode afetar na sua polimerização, especialmente em resinas compostas que apresentam fotoiniciadores alternativos em sua formulação, como o Lucerin TPO, que possui pico de absorção abaixo de 400 nm.

Uma variável da etapa de fotoativação que pode ser controlada pelo cirurgião-dentista é o tempo de aplicação da luz. É preconizado que os tempos recomendados pelos fabricantes sejam seguidos, mas existem variáveis dependentes do equipamento fotoativador que podem fazer com que esses tempos não sejam

suficientes. Um maior tempo de fotoativação pode levar a melhor polimerização da resina composta, desde que ela não tenha alcançado sua conversão máxima.¹⁶

Portanto, o entendimento das consequências de diferentes características dos equipamentos fotoativadores e dos protocolos utilizados na polimerização de resinas compostas *bulk fill* é importante para que o cirurgião-dentista possa confeccionar restaurações de maneira eficiente, utilizando os equipamentos e técnicas que proporcionam os melhores resultados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RESINAS COMPOSTAS E FOTOINICIADORES

Desde o seu desenvolvimento, as resinas compostas passaram por diversas modificações em sua composição e modo de uso. Isso fez com que esse material tivesse suas propriedades mecânicas e óticas aprimoradas, além de fazer com que sua polimerização pudesse ser melhor controlada.⁸ Assim, as resinas compostas podem ser usadas com segurança na confecção de restaurações, com estudos clínicos que comprovam a sua eficácia a longo prazo.^{3, 5} Entretanto, ainda existe a preocupação com a correta polimerização do material e o alívio dos estresses decorrentes da contração de polimerização.¹⁷

A contração de polimerização causa tensões na interface entre dente e restauração, o que pode levar a falhas no processo adesivo, fazendo com que a restauração se desprenda das paredes da cavidade, ou podendo também levar a trincas e fraturas do remanescente dental.¹⁷⁻¹⁹ Com a formação de fendas entre dente e restauração, a infiltração de microrganismos é facilitada, podendo ocasionar cáries secundárias.²⁰

A fim de compreender a reação de polimerização, têm sido estudados fatores que influenciam nas tensões geradas e métodos que podem promover a redução dessas tensões. Alguns desses fatores são considerados dependentes da polimerização do material, como o fator de configuração cavitária, o controle da cinética de polimerização e a técnica de inserção do material. Outros fatores são dependentes da composição do material, como a quantidade de carga, o tipo de cadeia orgânica, e a interação entre elas.^{17, 21} Um dos métodos frequentemente utilizados pelos cirurgiões-dentistas para dissipação das tensões geradas durante a reação de polimerização é a técnica incremental de inserção da resina composta. A técnica incremental, além de garantir a adequada polimerização do material, reduz o fator de configuração cavitária, promovendo uma diminuição do estresse decorrente da contração de polimerização.^{22, 23}

Entretanto, com o desenvolvimento das resinas compostas do tipo *bulk fill*, a inserção do material nas cavidades a serem restauradas pode ser realizada em porção única. Tendo em vista a técnica restauradora em porção única, as resinas *bulk fill*

deveriam gerar um maior stress decorrente da contração de polimerização. Segundo os fabricantes, a composição dessas resinas foi alterada, inserindo maior quantidade de carga e de diferentes tipos. Essas partículas de carga são utilizadas como dissipadores de estresse, por apresentarem menor módulo de elasticidade.²⁴ Também têm sido utilizados monômeros capazes de dissipar as tensões geradas durante a reação de polimerização, quebrando ligações já formadas para formar novas ligações.²⁵ Estudos mostram que as resinas *bulk fill* apresentam menores tensões de contração quando comparadas com as convencionais e menor deflexão de cúspides na mesma situação.²⁶⁻²⁸

Com a possibilidade da inserção do material em porção única, as resinas *bulk fill* propõe a vantagem da menor incorporação de bolhas e contaminantes entre incrementos. Contaminantes, como o talco das luvas de procedimentos e saliva, se incorporados à restauração, podem reduzir suas propriedades mecânicas.^{29, 30} Outra vantagem das resinas *bulk fill* é o menor tempo necessário para a confecção de uma restauração, em comparação à utilização de resinas compostas convencionais.

As primeiras gerações desse tipo de resina apresentavam baixa viscosidade e requeriam cobertura com uma camada final de resina composta convencional, devido às suas baixas propriedades mecânicas.^{28, 31} Gerações mais recentes dessas resinas têm alta viscosidade e melhores propriedades mecânicas, suficientes para que os fabricantes possam preconizar sua utilização sem a associação com resinas compostas convencionais.³² Entretanto, restaurações polimerizadas inadequadamente, com menores graus de conversão, têm propriedades mecânicas inferiores, aumentando as chances de fratura do material restaurador.³³ Tendo em vista as grandes profundidades de polimerização que os fabricantes das resinas garantem, de até 5mm, é necessária a avaliação polimerização dessas resinas nas diferentes profundidades. Sabe-se que com o aumento da distância entre a ponta do fotoativador e o material, ocorre uma diminuição da intensidade de luz que chega à resina composta, dificultando a correta polimerização do fundo da restauração.^{34, 35}

Alguns fabricantes incorporaram novos fotoiniciadores nas resinas *bulk fill* para garantir uma maior profundidade de polimerização, como o Ivocerin®. Este fotoiniciador seria mais reativo, quando comparado à canforoquinona ou ao TPO, usualmente utilizados nas resinas compostas, permitindo uma maior profundidade de polimerização.²⁴ Entretanto, o espectro de absorção desses fotoiniciadores é diferente do espectro de absorção da canforoquinona, usualmente utilizada como fotoiniciador

de resinas compostas. A diferença no espectro de absorção desses fotoiniciadores pode fazer com que a fotoativação deles seja dificultada, já que os equipamentos fotoativadores podem não emitir luz nos comprimentos de onda necessários para sua sensibilização.³⁶ Além da incorporação de novos fotoiniciadores, essas resinas possuem maior translucidez, permitindo maior passagem de luz.³⁷ Alterações foram feitas na composição delas, como o aumento do tamanho de suas partículas de carga. Apesar de alguns estudos mostrarem que algumas resinas *bulk fill* não conseguem alcançar grau de conversão adequado nas espessuras preconizadas pelos fabricantes,^{13, 38} outros estudos mostram adequada polimerização nessas profundidades.^{12, 39}

Tendo em vista que as cáries secundárias e a fratura do material restaurador são as principais causas que levam à necessidade da substituição de restaurações,^{3, 40, 41} e que a fratura dos materiais está associada a baixas propriedades mecânicas dos materiais, pode-se afirmar que a adequada polimerização das resinas compostas se faz necessária para o sucesso do procedimento restaurador. Além disso, quanto menor o grau de conversão de uma resina composta, maior é a quantidade de monômeros residuais nela, sendo que essas substâncias são solúveis e podem afetar a compatibilidade das restaurações, já que são prejudiciais à polpa dental e aos tecidos periodontais.^{9, 42, 43}

2.2 EQUIPAMENTOS FOTOATIVADORES

Grande parte dos procedimentos adesivos e estéticos atuais requerem a fotoativação de materiais, sendo que a correta execução dessa etapa é fundamental para o êxito do procedimento. O avanço dos materiais restauradores e dos equipamentos fotoativadores fez com que atualmente estejam disponíveis muitas opções de equipamentos, sendo que cada um deles tem características específicas, podendo levar a diferentes indicações de uso. Tendo em vista as diversas características desses equipamentos, é importante o conhecimento do tipo de lâmpada utilizada, da ponteira do equipamento, da sua potência e irradiância, do seu espectro de emissão e homogeneidade do seu feixe de luz.^{6, 7, 44-47}

Desde a introdução dos equipamentos fotoativadores diversos tipos de lâmpada foram utilizados para a emissão de luz. No início, os equipamentos emitiam luz ultravioleta, sendo que eles foram substituídos por equipamentos que utilizavam

lâmpadas halógenas por causa de sua maior eficiência e por motivos de segurança. Os equipamentos fotoativadores que utilizavam lâmpadas halógenas, por sua vez, foram substituídos por equipamentos que utilizam diodos emissores de luz (LEDs), equipamentos mais utilizados atualmente. Os LEDs apresentam a vantagem da maior duração da lâmpada, tamanho e peso reduzidos, além de não necessitar de filtros. Equipamentos de arco de plasma e laser de argônio também foram utilizados durante algum tempo, mas nunca se tornaram populares e logo foram substituídos por equipamentos que utilizam LEDs por apresentarem maior eficiência espectral, eficiência energética, além de vantagens já descritas.^{36, 48}

Com relação às ponteiros dos equipamentos fotoativadores, existe uma grande variedade disponível. As ponteiros podem transmitir a luz indiretamente, com a necessidade de um guia que conduza a luz do LED até sua extremidade, ou diretamente, quando o LED está localizado na extremidade da ponteira. Também existe uma grande diversidade nos diâmetros de ponteiros disponíveis. O formato do equipamento, tipo e angulação da ponteira pode fazer com que o acesso da luz em dentes posteriores seja facilitado, sendo que o correto posicionamento sobre o material e angulação da ponteira do equipamento fotoativador são essenciais para a correta polimerização das restaurações em resina composta.^{49, 50} O diâmetro das ponteiros dos equipamentos fotoativadores é outra característica importante, já que com ponteiros mais estreitas, a área que pode ser coberta com uma única fotoativação é pequena, podendo levar a necessidade de mais do que uma fotoativação por restauração.⁶

A potência, ou fluxo radiante, dos equipamentos fotoativadores deve ser conhecida pelos clínicos e pesquisadores.⁴⁷ Esse dado diz respeito à luz emitida pelo equipamento, independente da área da ponteira do equipamento. A potência mede a quantidade de fótons que são emitidos pelo equipamento fotoativador, o que é importante para a geração dos radicais livres que iniciarão a reação de polimerização.⁷ Idealmente, a potência deveria ser avaliada em tempo real, com o intuito de analisar possíveis oscilações da potência durante o tempo em que o equipamento fotoativador este ligado. A potência dos equipamentos fotoativadores pode ser mensurada com o uso de um medidor de potência, de acordo com a ISO 10650,⁵¹ ou com uma esfera integradora acoplada a um espectrômetro de fibra ótica. Os equipamentos utilizados devem ter a capacidade de mensurar todos os comprimentos de onda da luz emitida pelo equipamento fotoativador e ter um sensor capaz de captar a luz emitida por toda

a ponteira.⁷ O uso de radiômetros para a mensuração da potência de equipamentos fotoativadores pode levar a erros, já que esses equipamentos possuem deficiências como sensores de tamanho reduzido, que levam a resultados imprecisos.⁵²⁻⁵⁵ A irradiância é dependente da área da superfície que está recebendo luz, sendo ela calculada pela potência emitida dividida pela área da superfície na qual o feixe de luz incide.

O espectro de emissão da luz emitida pelos equipamentos fotoativadores também deve ser conhecida pelos profissionais que os utilizam.⁷ Quando as lâmpadas halógenas eram utilizadas, não existia muita preocupação em relação ao seu espectro de emissão, pois elas emitem luz num espectro amplo, mas com o uso dos LEDs, que emitem luz num espectro estreito, o espectro de emissão pode ser uma característica importante, principalmente com o início do uso de fotoiniciadores alternativos, que apresentam pico de absorção na região da luz violeta.³⁶ Pensando nisso, equipamentos fotoativadores que possuem LEDs que emitem luz em diferentes comprimentos de onda foram desenvolvidos, chamados de Polywave® ou multipico.⁴⁸ Assim, a emissão espectral desses equipamentos se dá numa faixa de comprimento de onda mais ampla. Para a análise da emissão espectral dos equipamentos fotoativadores, uma esfera integradora acoplada a um espectrômetro de fibra ótica deve ser utilizada. Dessa forma, a potência espectral pode ser mensurada, permitindo a avaliação da potência emitida em cada faixa de comprimento de onda.⁷

A homogeneidade do feixe de luz emitido pelos equipamentos fotoativadores também é de extrema importância para a caracterização dos equipamentos fotoativadores.¹⁴ A distribuição da irradiância dos equipamentos fotoativadores pode estar concentrada em regiões específicas do equipamento, fazendo com que o verdadeiro diâmetro da ponteira do fotoativador que emite luz seja menor.⁵⁶⁻⁵⁹ Isso pode causar uma ilusão de que a ponteira está cobrindo um dente inteiro, mas na realidade a luz que incide no dente está concentrada somente em uma região do dente. Levando em consideração os equipamentos que utilizam LEDs que emitem luz em diferentes espectros, também existe a necessidade de avaliar a distribuição da luz nesses diferentes espectros que são emitidos pelo equipamento fotoativador. Uma concentração de espectros em regiões específicas dos equipamentos faz com que a irradiância que chega no material restaurador não tenha a capacidade de o polimerizar adequadamente.^{60, 61}

Existem diferentes formas de avaliar o perfil do feixe de luz: 1) utilizando uma fibra ótica acoplada a um espectrômetro, 2) utilizando uma esfera integradora com uma abertura estreita associada a um espectrômetro, ou 3) com uma câmera CCD associada a filtros de luz.^{7, 47, 56} As vantagens da utilização da fibra são que a luz que incide da superfície da fibra é mensurada, traduzindo o que a superfície do material restaurador receberia. Entretanto, esse método é trabalhoso, já que para um perfil com maior definição, são necessárias muitas medidas e cada uma delas é tomada em um tempo diferente, fazendo com que oscilações na luz emitida pelos equipamentos fotoativadores levem a resultados imprecisos. Com a metodologia que utiliza uma câmera, todos os pontos da mensuração são tomados no mesmo momento, dando uma avaliação de toda a ponteira ao mesmo tempo. Isso pode viabilizar a avaliação do perfil do feixe de luz de equipamentos que emitem luz pulsada.⁶

Tendo essas diversas características a serem consideradas sobre os equipamentos fotoativadores, a avaliação de somente uma delas não é suficiente para sua avaliação.⁷ Existe a necessidade da caracterização dos equipamentos como um todo, sendo que os fabricantes deveriam fornecer informações para garantir que os cirurgiões-dentistas, em meio a tantas opções disponíveis, tenham a possibilidade de escolher corretamente seus equipamentos, assim como para garantir que os pesquisadores possam atentar à reprodutibilidade de seus estudos.

2.3 FOTOATIVAÇÃO DE RESINAS COMPOSTAS

A reação de polimerização das resinas compostas utilizadas atualmente depende da sua ativação por luz, ou fotoativação. Nesse processo, a energia luminosa emitida pelos equipamentos fotoativadores interage com os fotoiniciadores gerando radicais livres que iniciarão o processo de transformação de monômeros em polímeros.¹⁸ Muitos fatores podem afetar na reação de polimerização das resinas compostas como a concentração de fotoiniciadores, o tipo de fotoiniciador, a mudança de viscosidade do material durante a reação, a diferença do índice de refração entre a matriz resinosa e as partículas de carga, a opacidade do material, a potência do equipamento fotoativador, o tempo de fotoativação e a temperatura do material.^{8, 62-65}

Para garantir uma maior profundidade de polimerização e menores tensões geradas durante a reação de polimerização, os fabricantes alteraram a composição das resinas *bulk fill*, modificando a matriz resinosa e as partículas de carga dos

materiais, além do tamanho dessas partículas. Isso faz com que a reação de polimerização seja diferente. Por exemplo, monômeros que se quebram durante a polimerização e formam novas ligações, a fim de dissipar as tensões geradas, foram inseridos na composição de algumas resinas compostas.²⁵ Moduladores da reação de polimerização também foram inseridos nas resinas compostas *bulk fill*, afim de aumentar a fase pré-gel durante a reação de polimerização, o que torna possível a dissipação de parte das tensões geradas. O comportamento da luz que atravessa as resinas compostas também se torna diferente, já que a refração da luz acontece durante a sua transição entre partícula de carga e matriz resinosa.⁶⁵ A inserção de maiores partículas de carga tem o intuito de diminuir a refração da luz e permitir uma maior profundidade de polimerização, mas uma consequência dessa modificação é uma menor resistência ao desgaste do material.⁶⁶ O comprimento de onda da luz emitida influencia na passagem de luz, sendo que menores comprimentos de onda têm menor capacidade de penetração através da resina composta.^{10, 15, 67} Essas características das resinas compostas e dos equipamentos fotoativadores, e a interação entre elas, são importantes quando consideramos as resinas compostas *bulk fill*, já que, se a luz que alcançar o fundo da restauração não for suficiente para sua correta polimerização, suas propriedades serão afetadas.

Sabendo que a polimerização das resinas é mais crítica quando as resinas compostas do tipo *bulk fill* são levadas em conta, o conhecimento das características dos equipamentos fotoativadores que podem influenciar na reação de polimerização se torna importante. O tipo de fotoiniciador utilizado nas resinas compostas deve ser conhecido, já que os equipamentos fotoiniciadores devem emitir luz em um espectro capaz de sensibilizar os fotoiniciadores utilizados. Resinas que utilizam diferentes fotoiniciadores, se fotoativadas com equipamentos inadequados, podem gerar restaurações com menores propriedades mecânicas e, consequentemente, prejudicada longevidade.⁶⁸ Sendo assim, é necessária a avaliação da sensibilização desses novos fotoiniciadores com equipamentos LEDs de pico único e multi-pico. Estudos mostram que LEDs multi-pico, que possuem diferentes picos de comprimento de onda, são necessários para a correta sensibilização de fotoiniciadores como o Lucerin TPO.^{64, 69-71}

Cada resina composta tem uma dose de energia necessária para sua correta polimerização e a velocidade com que essa dose é fornecida ao material pode afetar suas propriedades finais.^{72, 73} Uma velocidade de polimerização muito grande pode

causar o aprisionamento de radicais livres, sendo que isso pode afetar a conversão final do material.⁷⁴ Ainda em relação à correta polimerização de restaurações em resina composta, tem sido demonstrado que os tempos de fotoativação diferentes podem resultar em diferentes propriedades das resinas compostas,^{62, 75} sendo que os tempos de fotoativação que fabricantes recomendam para seus materiais podem não ser suficientes para a polimerização adequada, fator fundamental para o sucesso do procedimento restaurador.⁷⁶⁻⁷⁸ A velocidade da reação de polimerização também é afetada pela temperatura do material, sendo catalisada quando a temperatura do material é aumentada.⁶³ O aumento de temperatura ocorre tanto pela reação de polimerização, que é exotérmica, como pela energia luminosa absorvida durante a fotoativação. Entretanto, um aumento de temperatura exacerbado pode ser prejudicial aos tecidos periodontais e à polpa dental.⁷⁹⁻⁸²

Tendo em vista a distribuição da potência na ponteira dos equipamentos fotoativadores, se houver concentração de saída radiante numa área específica do equipamento fotoativador, a superfície da resina composta que receber menor irradiância terá sua polimerização prejudicada.^{56-58, 83-85} O mesmo acontecerá se um espectro de luz específico for concentrado numa região da ponteira do equipamento fotoativador, a região da resina composta que não receber a luz com esse comprimento de onda pode ter sua polimerização prejudicada.⁶¹ O diâmetro da ponteira dos equipamentos fotoativadores também é relevante na polimerização das resinas compostas. Equipamentos que possuem ponteiros estreitos podem não ter a capacidade de cobrir um dente inteiro. Isso não era uma preocupação quando apenas a técnica incremental era utilizada, já que somente pequenos incrementos eram utilizados e a ponteira dos equipamentos fotoativadores, mesmo que estreita, cobria todo o incremento. Não existem estudos que avaliam a capacidade de polimerização no sentido mesio-distal de restaurações grandes em resinas *bulk fill*, mas tendo em vista a técnica de inserção em porção única, preconizada para esse tipo de resina, essa característica pode ser uma dificuldade, já que podem haver regiões nas restaurações que não recebem luz.

O aumento da distância entre a ponteira do fotoativador e a superfície do material pode fazer com que a irradiância que chega à superfície das resinas compostas diminua.^{34, 35, 86} Devido às propriedades óticas da ponteira de alguns equipamentos fotoativadores, a irradiância que chega ao material restaurador pode ser mantida com 1 mm ou 2 mm de distância, mas mantendo a ponteira do

equipamento fotoativador a uma distância de 6 mm da superfície da resina composta, a diminuição da irradiância pode chegar a 50%, o que deve afetar a polimerização do material.⁷³

2.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE POLIMERIZAÇÃO DE RESINAS COMPOSTAS

O grau de conversão representa a conversão de monômeros em polímeros durante a reação de polimerização de resinas compostas, e está diretamente relacionada às propriedades mecânicas do material.⁸⁷ Existem alguns métodos para a avaliação do grau de conversão das resinas compostas, sendo o método direto através de Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier (FTIR), frequentemente utilizado.^{27, 88, 89} Métodos indiretos também podem ser utilizados, como por exemplo, a mensuração da dureza do material.^{86, 87, 90} Existe correlação linear positiva entre grau de conversão e dureza, desde que comparada uma mesma resina composta.⁹¹

Para a mensuração da profundidade de polimerização, a ISO 4049 preconiza a utilização de anéis de metal de 4 mm de diâmetro interno com a espessura correspondente ao dobro da profundidade de polimerização preconizada pelos fabricantes. Após fotoativação do material, a raspagem do excesso de material não polimerizado deve ser realizada e a espessura do remanescente mensurada com um paquímetro digital. A profundidade de polimerização considerada é a metade da espessura mensurada.⁹² Entretanto, o teste de raspagem preconizado pela ISO pode não ser o mais indicado para a avaliação da polimerização de resinas compostas *bulk fill*, já que os resultados podem ser superestimados quando comparados ao teste de microdureza.^{11, 93} Também existe a necessidade da atenção às dimensões dos moldes e materiais de que são feitas as matrizes para confecção dos espécimes, já que essas características podem afetar significativamente a polimerização das resinas compostas.⁹⁴ Idealmente, as situações encontradas clinicamente devem ser reproduzidas no laboratório. Solventes orgânicos também podem ser utilizados na avaliação da polimerização das resinas compostas, sendo que a função dos solventes é a remoção dos monômeros residuais presentes nos espécimes testados.⁹⁵

Na literatura atual, têm sido apresentados estudos sobre a adaptação marginal de restaurações confeccionadas com resinas compostas *bulk fill* que utilizaram testes de infiltração⁹⁶ e microscopia eletrônica de varredura para verificar a presença de

fendas entre restauração e dente;⁹⁷ estudos sobre as propriedades mecânicas dessas resinas compostas que testaram a resistência flexural,⁹⁷ a transmissão de luz^{98, 99} e a dureza;^{13, 39, 96} e estudos sobre a fotoativação de resinas *bulk fill* que avaliaram a cinética de polimerização^{16, 27, 100} e a profundidade de polimerização desses materiais.^{12, 89, 101-103} Entretanto, existe a necessidade de novos estudos avaliando a interação entre os equipamentos fotoativadores atuais e esse tipo de resina, além da viabilidade da confecção de restaurações satisfatórias. Assim, torna-se necessária a avaliação das restaurações confeccionadas com as resinas do tipo *bulk fill* e fotoativadores LED atuais, sendo importante a verificação de suas características e a influência delas na polimerização de restaurações.

3 PROPOSIÇÃO

Os objetivos principais desse estudo foram:

- Caracterizar quatro equipamentos fotoativadores quanto ao diâmetro da ponteira, à potência, à irradiância, ao espectro de emissão e à homogeneidade do feixe de luz;
- verificar a influência da resina composta, do equipamento fotoativador, do tempo de fotoativação e do tipo de molde sobre a dureza em diferentes regiões de restaurações confeccionadas com duas resinas compostas *bulk fill*;
- avaliar a transmissão de luz através de restaurações confeccionadas com duas resinas compostas *bulk fill*;
- avaliar a ação de solventes sobre espécimes confeccionados com duas resinas compostas *bulk fill*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ASPECTOS ÉTICOS

Esse estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo sob os números: 1.167.899 e 2.006.187 (Anexos A e B), para o uso de dentes humanos. Esse estudo também teve aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Dalhousie University (Anexo C).

4.2 RESINAS COMPOSTAS E EQUIPAMENTOS FOTOATIVADORES

Foram utilizadas duas resinas compostas do tipo *bulk fill*: Filtek Bulk Fill Posterior Restorative - A2 (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA), e Tetric Evo Ceram Bulk Fill - IVA (Ivoclar Vivadent, Amherst, NY, EUA).

Os equipamentos fotoativadores utilizados foram (Tabela 4.1):

- Bluephase 20i – modo “high power” (Ivoclar Vivadent);
- Celalux 3 (Voco, Cuxhaven, Alemanha);
- Elipar DeepCure-S (3M ESPE);
- Valo Grand – modo “standard power” (Ultradent, South Jordan, UT, EUA).

Tabela 4.1 – Equipamentos fotoativadores, fabricantes e informações de irradiância (mW/cm^2), espectro de emissão (nm) e diâmetro da ponteira (mm) fornecidas por eles

Equipamento Fotoativador e Número de Série	Fabricante	Irradiância (mW/cm^2)	Espectro de emissão (nm)	Diâmetro da ponteira (mm)
Bluephase 20i (sn: P626170S548780)	Ivoclar Vivadent, Amherst, NY, EUA	1200	385-515	8
Celalux 3 (sn: 1637091)	VOCO, Cuxhaven, Alemanha	1300	450-480	8
Elipar DeepCure-S (sn: 933112-001111)	3M ESPE, St. Paul, MN, EUA	1470	430-480	10
Valo Grand (sn: MFG3277-5)	Ultradent, South Jordan, UT, EUA	1000	395-480	12

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS FOTOATIVADORES

Os equipamentos fotoativadores foram caracterizados quanto ao 1) diâmetro da ponteira, 2) potência, 3) irradiância, 4) espectro de emissão e 5) homogeneidade do feixe de luz.

Um paquímetro digital (Mitutoyo, Kawasaki, Kanagawa, Japão) foi utilizado para mensuração do diâmetro da ponteira dos equipamentos. Foram medidos o diâmetro externo e o diâmetro da ponteira que efetivamente emitia luz foram mensurados. No caso do equipamento fotoativador Valo Grand, o diâmetro da lente que emite luz foi considerado o diâmetro efetivo (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Diferenças entre diâmetro externo e diâmetro que efetivamente emite luz de dois equipamentos fotoativadores (Celalux 3 e Valo Grand)

A potência e espectro de emissão dos equipamentos fotoativadores foram avaliados com auxílio de uma esfera integradora de 6 polegadas (Labsphere, North Sutton, NH, EUA) acoplada ao espectrômetro de fibra ótica USB4000 (Ocean Optics, Dunedin, IL, EUA) (Figura 4.2). Foram feitas cinco mensurações da potência espectral e da potência total emitidos entre 350 e 550 nm de cada equipamento fotoativador ($n=5$). A ponteira do fotoativador foi posicionada a 0 mm de distância da abertura de 16 mm da esfera integradora. Uma fonte de luz rastreável SCL-600 (Labsphere) foi utilizada para calibração do sistema antes do início das mensurações. A irradiância dos equipamentos fotoativadores foi calculada a partir do diâmetro mensurado previamente com o paquímetro digital, sendo que o valor resultante da potência emitida foi dividido pela área da ponteira dos equipamentos.

Figura 4.2 – Esfera integradora utilizada para a avaliação da potência e do espectro de emissão dos equipamentos fotoativadores

A homogeneidade do feixe de luz dos equipamentos fotoativadores foi avaliada com auxílio de um *Laser Beam Profiler* (Ophir Spiricon). Uma câmera CCD associada a uma lente com distância focal de 50 mm (USB-L070, Ophir Spiricon) posicionada a uma distância fixa de uma tela holográfica de 40° (Thor Laboratories, Newton, NJ, EUA) foi utilizada para essa análise (Figura 4.3). Um filtro azul feito sob encomenda (International Light Technologies, Peabody, MA, EUA) foi utilizado para nivelar a resposta espectral da câmera. Foram feitas análises das distribuições de potência pelas ponteiros quando essas eram mantidas as distâncias de 0 mm e 2 mm da tela holográfica. Filtros passa-banda estreitos (Edmund Industrial Optics, Barrington, NJ, EUA), que permitem a passagem de um comprimento de onda específico e atenuam todos os outros, foram utilizados para a avaliação da distribuição da potência da luz azul (460 nm) e violeta (400 nm) pela ponteira dos equipamentos fotoativadores. Os filtros tinham tolerância máxima de ± 5 nm e permitiam somente a passagem de luz com esse comprimento de onda. O software BeamGage v.6.6 (Ophir Spiricon) foi utilizado para calibrar a contagem de fótons recebida por cada pixel da câmera. O efeito da luz ambiente foi eliminado normalizando todos os pixels a um nível similar, usando o recurso UltraCal no software BeamGage antes de cada mensuração. Os resultados de potência previamente coletados com auxílio da esfera integradora foram utilizados para a produção de imagens calibradas com o software BeamGage. Os dados também foram exportados para o software Origin Pro 2016 (OriginLab,

Northampton, MA, EUA) para que imagens da distribuição de potência e irradiância pela ponteira dos equipamentos fotoativadores fossem feitas em uma mesma escala. Foram feitas imagens da distribuição da potência através da ponteira dos equipamentos fotoativadores.

Figura 4.3 – *Beam Profiler*. Tela holográfica de 40° onde o feixe de luz era capturado

4.4 MATRIZ DE DELRIN®

Cinco espécimes feitos com cada resina, utilizando cada um dos quatro equipamentos fotoativadores (n=5) foram confeccionados com a ajuda de matrizes brancas de Delrin®, com 12 mm de diâmetro interno e 4 mm de espessura (Figura 4.4). Uma lamínula de vidro de 0,14 mm de espessura (Globe Scientific Inc., Paramus, NJ, EUA) foi posicionada sob a matriz e as resinas compostas foram inseridas em porção única no interior dela. Então, outra lamínula de vidro foi posicionada sobre a matriz, a fim de garantir que as superfícies de topo e fundo fossem planas e paralelas.

Figura 4.4 – Espécime confeccionado com a matriz de Delrin® branca.

O conjunto de matriz, lamínulas e resina composta foi posicionada sobre a abertura da esfera integradora FOIS-1 (Ocean Optics) e os espécimes foram fotoativados por 10 segundos com a ponteira dos fotoativadores posicionadas no centro, a 2 mm de distância da superfície de topo. Após fotoativação, os espécimes foram armazenados em ambiente escuro a 37°C durante 24 horas. Após armazenamento, a microdureza Knoop dos espécimes foi mensurada com o microdurômetro HMV 123 (Mitutoyo) (Figura 4.5), nas superfícies de topo e fundo, no centro do espécime e a cada 1 mm em todas as direções (norte, sul, leste e oeste), totalizando 97 endentações por espécime (Figura 4.6). A carga de 15 gf e tempo de 8 segundos foram utilizados para as endentações. Os resultados de microdureza foram inseridos no software Origin Pro 2016 para a produção de mapas de dureza dos espécimes. Após o teste de microdureza, os espécimes foram imersos no solvente orgânico Tetrahidrofurano (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA) por 24 horas, a fim de promover a remoção de monômeros residuais. As superfícies dos espécimes foram fotografadas após esse período de tempo para comparação com os mapas de dureza gerados.

Figura 4.5 – Microdurômetro HMV 123 (Mitutoyo) utilizado nos ensaios de microdureza. A mesa feita sob medida do microdurômetro possui uma canaleta que permitia o posicionamento dos espécimes sempre na mesma orientação

Figura 4.6 – Esquema representativo das posições das 97 endentações feitas nas superfícies de topo e fundo dos espécimes. O círculo maior representa as margens do espécime (diâmetro = 12 mm). Uma endentação foi feita no centro de cada círculo menor.

4.5 – MATRIZ CONFECCIONADA COM USO DE DENTE HUMANO

Um primeiro molar inferior humano hígido, extraído por motivos periodontais e doado para pesquisa à Dalhousie University, foi utilizado para confecção de uma matriz (Figura 4.7). O dente teve suas cúspides desgastadas e foi incluído em resina acrílica. Após polimerização da resina acrílica, o dente foi seccionado em 3 fatias, no sentido mesio-distal, resultando em uma fatia vestibular, uma fatia medial e uma fatia lingual. A resina acrílica da fatia medial foi rebaixada até o nível da junção amelo-cementária do dente. Com um silicone de adição foi realizada a moldagem dessa fatia de dente, produzindo um guia que possibilitou a obtenção do mesmo formato em todas as restaurações. A fatia do meio tinha uma espessura de 3 mm e teve um preparo MOD para restauração em resina composta confeccionado, com dimensões representadas na figura 4.8. As superfícies do preparo foram polidas com sequencias de borrachas abrasivas e pastas diamantadas, a fim de facilitar a remoção da resina composta após a sua fotoativação.

Cinco espécimes de cada resina, utilizando cada equipamento fotoativador ($n=5$) foram confeccionados com o auxílio da matriz de dente. A matriz foi posicionada em uma morsa fixa, a fim de que todas as fotoativações fossem feitas com o dente na mesma posição. Lamínulas de vidro de 0,14 mm de espessura foram posicionadas entre as fatias do molde e o guia de silicone de adição, afim de possibilitar a retirada do espécime em resina composta. As resinas compostas foram inseridas na matriz em porção única e o tempo de fotoativação variou entre 10 e 20 segundos com a ponteira dos equipamentos fotoativadores posicionadas no centro do topo da matriz, com 2 mm de distância de sua superfície oclusal. Após a fotoativação, os espécimes foram destacados do molde e armazenados em ambiente escuro a 37°C durante 24 horas. A microdureza Knoop dos espécimes foi mensurada na superfície transversal, a cada 0.5 mm de profundidade, em três posições: no centro, na mesial (4.5 mm do centro, no sentido mesial) e na distal (4.5 mm do centro, no sentido distal) com o microdurômetro HMV 123, totalizando 20 endentações por espécime (4 endentações no centro e 8 endentações em cada um dos lados), como representado na figura 4.8a. A carga de 15 gf e tempo de 8 s foram utilizadas para as endentações. Os dados de microdureza foram inseridos no software Origin Pro 2016 para produção de mapas de dureza. Um espécime de cada resina, utilizando cada equipamento fotoativador, também foi confeccionado utilizando o padrão de endentações representado na figura 4.8b, para a produção de mapas de dureza com alta resolução. Assim como quando a matriz de Delrin foi utilizada, após a leitura da microdureza, os espécimes foram imersos em Tetrahidrofurano por 24 horas, sendo fotografados após esse período de tempo.

Figura 4.8 – Esquemas demonstrativos das dimensões dos espécimes confeccionados com auxílio da matriz feita com uso de dente humano e das posições das endentações realizadas para o teste de microdureza Knoop. a- Baixa resolução. b- Alta resolução

4.6 TRANSMISSÃO DE LUZ ATRAVÉS DOS ESPÉCIMES

Os espécimes feitos com auxílio das matrizes de Delrin® foram submetidos à mensuração da transmissão da luz através da resina em tempo real por meio de uma esfera integradora FOIS-1 (Ocean Optics) acoplada ao espectrômetro de fibra ótica USB-4000. Os espécimes foram posicionados sobre a abertura de 10 mm de diâmetro da esfera integradora (Figura 4.9), sendo a captura dos dados iniciada 5 segundos antes do acionamento dos equipamentos fotoativadores, que permaneceram ligados por 10 segundos, e o final do teste se deu 5 segundos após o término da fotoativação. Foram feitas cinco mensurações da potência espectral e da potência total entre 350 e 550 nm da luz que atravessa os espécimes. Uma fonte de luz rastreável LS-1-CAL-INT (Ocean Optics) foi utilizada para a calibração do sistema antes do início das mensurações.

Figura 4.9 – Esfera integradora FOIS-1 (Ocean Optics). Transmissão de luz em tempo real sendo mensurada enquanto o espécime é fotoativado

Um outro primeiro molar humano hígido, extraído por motivos periodontais, doado para pesquisa à Dalhousie University, foi utilizado para a confecção de uma matriz, utilizada para a avaliação da homogeneidade de luz transmitida através de restaurações MOD confeccionadas com as resinas compostas utilizadas nesse estudo. O dente teve suas cúspides desgastadas com auxílio de uma politriz. Foi feito um preparo MOD para resina composta no dente, sendo a superfície do preparo polida com auxílio de pontas abrasivas e pastas diamantadas. A cavidade foi preenchida em porção única com as duas resinas compostas. O dente restaurado foi incluído em

resina acrílica e teve sua raiz e terço cervical desgastados até obtenção de uma espessura de 4 mm (Figura 4.10).

Figura 4.10 – Confeção da matriz feita com uso de dente humano, utilizada na mensuração da distribuição da luz que chega no fundo das caixas proximais de restaurações MOD

A câmera CCD USB-L070 associada a uma lente com distância focal de 50 mm, posicionada a uma distância fixa da matriz de dente restaurada, foi utilizada para a mensuração da distribuição da irradiância que chega ao fundo das caixas proximais de restaurações em resinas composta *bulk fill* (Figura 4.11). Um filtro azul feito sob encomenda foi utilizado para nivelar a resposta espectral da câmera. O software BeamGage foi utilizado para calibrar a contagem de fótons recebida por cada pixel da câmera. O efeito da luz ambiente foi eliminado normalizando todos os pixels a um nível similar, usando o recurso UltraCal no software BeamGage antes de cada mensuração. A fim de compreender o efeito do diâmetro da ponteira dos equipamentos fotoativadores sobre essa distribuição, o posicionamento da ponteira sobre a superfície da matriz feita com uso de dente humano foi variada, sendo ela posicionada no centro, na mesial (na direção mesial, sem que a ponteira do equipamento fosse posicionada além do dente) e na distal (na direção distal, sem que a ponteira do equipamento fosse posicionada além do dente). A ponteira dos equipamentos fotoativadores foi mantida a 2 mm de distância da superfície oclusal da matriz durante essa avaliação.

Figura 4.11 – *Beam profiler*. O molde confeccionado com uso de dente humano foi utilizado no lugar da tela holográfica de 40°

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de potência e irradiância mensurados foram utilizados para o cálculo de médias e desvios-padrões, que foram organizados em tabela, separados de acordo com cada equipamento fotoativador.

Os valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com auxílio das matrizes de Delrin® foram separados em 3 regiões circulares, de acordo com sua localização: central – 4 mm centrais, intermediária – 2 mm intermediários, e externa – 2 mm externos). As médias e desvios padrões dos valores obtidos com as endentações feitas em cada uma dessas regiões foi calculada e organizada em tabelas. O teste de análise de variância (ANOVA) com dois fatores, seguido do teste complementar de Tukey, com nível de significância de 5%, foram utilizados para verificar a influência da resina composta e da superfície mensurada (topo e fundo) nos resultados. Em seguida, outra ANOVA com dois fatores, seguido do teste de Tukey, foram utilizados para verificar a influência do equipamento fotoativador e das regiões (central, intermediária e externa) nos resultados. Também foi realizada uma análise qualitativa descritiva dos espécimes após imersão em solvente e dos mapas de dureza obtidos, de acordo com uma escala de cores que representava os valores de dureza.

Os valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com auxílio da matriz feita com uso de dente humano foram submetidos aos testes ANOVA e Tukey com nível de significância de 5%, para verificar se houve diferença nos valores

obtidos com 10 e 20 segundos de fotoativação e com as duas resinas compostas. Em seguida, os valores mensurados nos 2 mm superficiais foram utilizados para o cálculo das médias e desvios-padrões de cada uma das posições das endentações (mesial, centro e distal). O teste de ANOVA com dois fatores, seguido do teste de Tukey, com significância de 5%, foram utilizados para verificar se os fatores equipamento fotoativador e posição das endentações influenciaram nos resultados. O teste t também foi utilizado para a comparação dos valores de dureza obtidos nas posições proximais, considerando os 4 mm de profundidade. Uma análise qualitativa descritiva dos espécimes após imersão em solvente e dos mapas de dureza em alta resolução, de acordo com uma escala de cores que representava os valores de dureza, foi realizada. Os cálculos estatísticos foram feitos com o software Origin Pro 2016.

Os dados de transmissão de luz em tempo real foram utilizados para o cálculo de médias e desvios-padrões. Para os equipamentos fotoativadores multi-pico, as porcentagens de luz azul e violeta também foram calculadas e comparadas. As imagens da distribuição de luz através de restaurações foram avaliadas de forma qualitativa descritiva, de acordo com uma escala de cores representativa da porcentagem de irradiância máxima.

5 RESULTADOS

Os resultados referentes ao diâmetro externo e ao diâmetro efetivo das ponteiros dos equipamentos fotoativadores, potência e irradiância calculada a partir do diâmetro efetivo das ponteiros estão apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Diâmetro externo, diâmetro interno, potência e irradiância dos equipamentos fotoativadores

Equipamento fotoativador	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro efetivo (mm)	Potência (mW)	Irradiância Nominal (mW/cm ²)
Bluephase 20i	8.0	7.2	570,0 ± 2,7	1400,0 ± 6,6
Celalux 3	8.0	7.1	432,4 ± 4,4	1092,1 ± 11,2
Elipar DeepCure-S	9.8	9.0	792,9 ± 4,5	1246,3 ± 7,1
Valo Grand	15.0	11.6	1007,6 ± 13,0	953,4 ± 12,3

O espectro de emissão dos equipamentos fotoativadores utilizados está representado no gráfico 5.1. As cores violeta e azul mostram a diferença nos picos de comprimento de onda emitidos.

Gráfico 5.1 – Espectro de emissão dos equipamentos fotoativadores. Os valores de potência (mW) e os picos de comprimento de onda (nm) estão descritos

A homogeneidade da irradiância através da ponteira dos equipamentos fotoativadores a uma distância de 0 mm e 2 mm, sem filtro e com filtro de passa-banda estreitos de 400 nm (± 5 nm) estão representados nas figuras 5.1 e 5.2, respectivamente. Na figura 5.2, círculos brancos sobre os perfis dos feixes de luz representam o diâmetro efetivo das ponteiros dos equipamentos fotoativadores.

Figura 5.1 – Perfis dos feixes de luz capturados com o *beam profiler* a uma distância de 0 mm da tela holográfica de 40°

Figura 5.2 – Perfis dos feixes de luz capturados com o *beam profiler* a uma distância de 2 mm da tela holográfica de 40°

Os mapas de dureza feitos a partir das médias dos valores de microdureza Knoop mensurados nas superfícies de topo e fundo dos espécimes confeccionados com as matrizes de Delrin®, utilizando os quatro equipamentos fotoativadores, estão representados abaixo. A figura 5.3 apresenta os mapas obtidos com os espécimes confeccionados com a resina composta Filtek Bulk Fill Posterior Restorative e a figura

5.4 apresenta os mapas obtidos com os espécimes confeccionados com a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill. Círculos pretos sobrepostos aos mapas de dureza representam os limites das regiões utilizadas para a análise estatística (central, intermediária, externa).

Figura 5.3 – Mapas de dureza obtidos com os valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a resina Filtek Bulk Fill Posterior Restorative

Figura 5.4 – Mapas de dureza obtidos com os valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a resina Tetric EvoCeram Bulk Fill

O teste de análise de variância (ANOVA) com dois fatores, seguido do teste complementar de Tukey, com nível de significância de 5%, utilizados para verificar a influência da resina composta e da superfície mensurada nos resultados, revelou que

houveram diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$) para os dois fatores de variação (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Resultados da ANOVA para os fatores resina composta e superfície mensurada.

	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F	p
Resina Composta	1	2080,42146	2080,42146	181,44189	0
Superfície	1	2655,79966	2655,79966	231,62293	0
Interação	1	73,92211	73,92211	6,44704	0,0131
Resíduo	76	871,41965	11,46605	-	-

A tabela 5.3 apresenta as médias e desvios-padrões dos resultados de dureza em cada uma das regiões representadas nas figuras 5.3 e 5.4 e sua interação com os quatro equipamentos fotoativadores utilizados no presente estudo. Quando a resina Filtek Bulk Fill Posterior Restorative foi utilizada, os espécimes fotoativados com o equipamento Elipar DeepCure-S apresentaram os melhores resultados de dureza, sendo significativamente maiores ($p < 0,05$) ou não diferentes ($p \geq 0,05$) dos valores mensurados nos espécimes fotoativados com os demais equipamentos. A região central apresentou os melhores resultados de dureza, sendo significativamente maiores ($p < 0,05$) ou não diferentes ($p \geq 0,05$) dos resultados obtidos nas demais regiões. Quando o equipamento Valo Grand foi utilizado para a fotoativação dos espécimes, não foi observada diferença estatisticamente significantes ($p \geq 0,05$) entre os valores de dureza mensurados nas regiões central e externa, enquanto quando o equipamento Celalux 3 foi utilizado, houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os valores de dureza obtidos nessas regiões. Quando a resina Tetric EvoCeram Bulk Fill foi utilizada, os espécimes fotoativados com o equipamento Valo Grand não apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p \geq 0,05$) entre as regiões mensuradas, enquanto os espécimes fotoativados com os demais equipamentos apresentaram diferença entre as regiões central e externa ($p < 0,05$). Os espécimes fotoativados com o equipamento Valo Grand apresentaram os melhores resultados de dureza na superfície de topo. Na superfície de fundo, os espécimes fotoativados com os equipamentos Celalux 3 e Elipar DeepCure-S apresentaram os maiores valores de dureza, enquanto os espécimes fotoativados com o equipamento Bluephase 20i apresentaram os menores valores de dureza ($p < 0,05$).

Tabela 5.3 – Médias e desvios-padrões dos resultados de dureza em cada uma das regiões dos espécimes e sua interação com os quatro equipamentos fotoativadores

Filtek Bulk Fill Topo			
	Central	Intermediária	Externa
Bluephase 20i	70,9 ± 4,3 ^{Aa}	69,4 ± 4,2 ^{Aa}	65,7 ± 5,3 ^{Aa}
Celalux 3	69,2 ± 1,9 ^{Aa}	67,3 ± 1,7 ^{Ab}	62,6 ± 2,0 ^{Ab}
Deep Cure	70,5 ± 3,2 ^{Aa}	68,9 ± 3,1 ^{Aa}	66,0 ± 3,2 ^{Aa}
Valo Grand	67,3 ± 1,5 ^{Aa}	67,3 ± 1,2 ^{Aa}	66,5 ± 1,1 ^{Aa}
Filtek Bulk Fill Fundo			
	Central	Intermediária	Externa
Bluephase 20i	60,1 ± 2,3 ^{ABa}	58,3 ± 2,0 ^{ABab}	53,7 ± 2,5 ^{Bb}
Celalux 3	57,9 ± 3,4 ^{Ba}	56,3 ± 2,7 ^{Bab}	52,4 ± 2,5 ^{Bb}
Deep Cure	64,3 ± 1,4 ^{Aa}	62,7 ± 1,7 ^{Aa}	59,7 ± 1,6 ^{Aa}
Valo Grand	58,3 ± 3,0 ^{Ba}	58,2 ± 3,0 ^{ABa}	56,1 ± 2,5 ^{ABa}
Tetric Bulk Fill Topo			
	Central	Intermediária	Externa
Bluephase 20i	62,4 ± 1,9 ^{Aa}	61,0 ± 1,7 ^{Aa}	53,9 ± 2,1 ^{BCb}
Celalux 3	62,1 ± 2,6 ^{Aa}	59,6 ± 1,7 ^{Aa}	52,4 ± 1,5 ^{Cb}
Deep Cure	62,2 ± 1,9 ^{Aa}	60,6 ± 2,2 ^{Ab}	57,1 ± 2,2 ^{Bb}
Valo Grand	62,5 ± 0,5 ^{Aa}	62,4 ± 0,3 ^{Aa}	61,8 ± 0,5 ^{Aa}
Tetric Bulk Fill Fundo			
	Central	Intermediária	Externa
Bluephase 20i	45,0 ± 3,7 ^{Ba}	42,7 ± 3,4 ^{Bab}	37,2 ± 2,7 ^{Bb}
Celalux 3	52,3 ± 1,6 ^{Aa}	49,1 ± 1,1 ^{Aa}	42,0 ± 0,9 ^{ABb}
Deep Cure	51,7 ± 3,2 ^{Aa}	50,0 ± 3,6 ^{Aa}	46,3 ± 3,8 ^{Aa}
Valo Grand	48,9 ± 1,9 ^{ABa}	47,9 ± 1,9 ^{ABa}	45,8 ± 1,8 ^{Aa}

Letras sobrescritas maiúsculas diferentes representam diferenças estatisticamente significantes entre equipamentos fotoativadores. Letras sobrescritas minúsculas diferentes representam diferenças estatisticamente significantes entre regiões ($p < 0,05$).

As fotos dos espécimes confeccionados com as matrizes de Delrin® após a imersão em solvente foram organizadas ao lado dos mapas de dureza referentes a suas respectivas superfícies (topo e fundo) para as resinas compostas Filtek Bulk Fill Posterior Restorative (Figura 5.5) e Tetric EvoCeram Bulk Fill (Figura 5.6). Os

espécimes confeccionados com a resina Tetric EvoCeram Bulk Fill foram mais afetados pelo uso do solvente, apresentando halos opacos evidentes, enquanto os espécimes confeccionados com a resina Filtek Bulk Fill Posterior Restorative não apresentaram regiões opacas. Dentre os espécimes confeccionados com a resina Tetric EvoCeram Bulk Fill, existe uma diferença entre as superfícies de topo e de fundo, sendo que as superfícies de fundo apresentaram regiões com halos opacos mais evidentes, além de que os espécimes fotoativados com os equipamentos Bluephase 20i e Celalux 3 apresentam os halos opacos mais evidentes, independente da superfície avaliada.

Figura 5.5 – Fotos dos espécimes confeccionados com as matrizes de Delrin® utilizando a resina composta Filtek Bulk Fill Posterior Restorative após a imersão em solvente, organizadas ao lado dos mapas de dureza referentes a suas respectivas superfícies (topo e fundo)

Figura 5.6 – Fotos dos espécimes confeccionados com as matrizes de Delrin® utilizando a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill após a imersão em solvente, organizadas ao lado dos mapas de dureza referentes a suas respectivas superfícies (topo e fundo)

Os mapas de dureza feitos a partir das médias dos valores de microdureza Knoop mensurados na superfície transversal dos espécimes confeccionados com a matriz confeccionada com o uso de dente humano, utilizando os equipamentos fotoativadores por 10 e 20 segundos, estão representados nas figuras 5.7, para os espécimes confeccionados com a resina composta Filtek Bulk Fill Posterior Restorative, e figura 5.8, para os espécimes confeccionados com a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill.

Figura 5.7 – Mapas de dureza feitos a partir dos valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a matriz confeccionada com o uso de dente humano utilizando a resina composta Filtek Bulk Fill Posterior Restorative

Figura 5.8 – Mapas de dureza feitos a partir dos valores de dureza mensurados nos espécimes confeccionados com a matriz confeccionada com o uso de dente humano utilizando a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill

As médias e os desvios-padrões referentes aos 2 mm de profundidade superficiais na distal, centro e mesial dos espécimes confeccionados utilizando os quatro equipamentos fotoativadores com partir da matriz feita com o uso de dentes humanos estão representados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Médias e os desvios-padrões referentes aos 2 mm de profundidade superficiais dos espécimes confeccionados a partir da matriz feita com o uso de dentes humanos

Filtek Bulk Fill 10 segundos			
	Distal	Centro	Mesial
Bluephase 20i	31,1 ± 1,9 ^{Cc}	53,2 ± 0,1 ^{Aa}	42,3 ± 3,3 ^{Bb}
Celalux 3	30,6 ± 1,6 ^{Dc}	52,0 ± 1,8 ^{Aa}	37,3 ± 1,5 ^{Cb}
Deep Cure	39,6 ± 1,4 ^{Bc}	54,1 ± 1,0 ^{Aa}	48,0 ± 1,4 ^{Ab}
Valo Grand	44,3 ± 2,0 ^{Ac}	52,4 ± 1,6 ^{Aa}	48,6 ± 0,8 ^{Ab}
Filtek Bulk Fill 20 segundos			
	Distal	Centro	Mesial
Bluephase 20i	45,0 ± 0,2 ^{Bb}	54,0 ± 0,4 ^{Ba}	46,6 ± 0,2 ^{Bb}
Celalux 3	45,5 ± 0,4 ^{Bb}	54,3 ± 0,3 ^{Ba}	46,6 ± 0,2 ^{Bb}
Deep Cure	50,8 ± 0,2 ^{Ac}	56,5 ± 0,5 ^{Aa}	53,3 ± 0,6 ^{Ab}
Valo Grand	52,1 ± 0,6 ^{Ac}	57,3 ± 0,4 ^{Aa}	54,0 ± 0,5 ^{Ab}
Tetric Bulk Fill 10 segundos			
	Distal	Centro	Mesial
Bluephase 20i	26,7 ± 2,2 ^{Bc}	42,5 ± 0,9 ^{Ba}	32,4 ± 1,6 ^{Bb}
Celalux 3	20,4 ± 1,2 ^{Cc}	38,8 ± 1,2 ^{Da}	24,7 ± 1,7 ^{Cb}
Deep Cure	27,5 ± 0,6 ^{Bc}	39,1 ± 0,8 ^{CDa}	33,0 ± 0,5 ^{Bb}
Valo Grand	36,9 ± 1,9 ^{Ac}	45,9 ± 1,7 ^{Aa}	40,9 ± 1,3 ^{Ab}
Tetric Bulk Fill 20 segundos			
	Distal	Centro	Mesial
Bluephase 20i	32,5 ± 1,6 ^{Cb}	45,5 ± 0,5 ^{Ba}	34,2 ± 1,5 ^{Cb}
Celalux 3	30,6 ± 0,6 ^{Cb}	40,2 ± 0,6 ^{Ca}	31,7 ± 1,0 ^{Db}
Deep Cure	36,6 ± 1,2 ^{Bc}	44,4 ± 0,7 ^{Ba}	40,3 ± 0,8 ^{Bb}
Valo Grand	45,6 ± 1,1 ^{Ab}	49,8 ± 0,7 ^{Aa}	45,5 ± 0,5 ^{Ab}

Letras sobresscritas maiúsculas diferentes representam diferenças estatisticamente significantes entre equipamentos fotoativadores. Letras sobresscritas minúsculas diferentes representam diferenças estatisticamente significantes entre regiões ($p < 0,05$).

A análise estatística mostrou que, independente da resina composta utilizada, os espécimes fotoativados com o equipamento Valo Grand apresentaram os melhores resultados de dureza, sendo significativamente maiores ($p < 0,05$) ou não diferentes ($p \geq 0,05$) dos valores mensurados nos espécimes fotoativados com os demais equipamentos fotoativadores. Entretanto, mesmo quando o equipamento com o maior diâmetro da ponteira, Valo Grand, foi utilizado, houve diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos no centro e nas regiões proximais (distal e mesial) ($p < 0,05$). A ANOVA utilizada para verificar a influência dos tempos de fotoativação e das resinas compostas sobre resultados de dureza mostrou que houve diferença estatisticamente significativa entre os valores mensurados nos espécimes fotoativados com 10 e 20 segundos ($p < 0,05$) e quando foram utilizadas as diferentes resinas ($p < 0,05$) (Tabela 5.5). O teste t utilizado para comparar os valores de dureza obtidos nas caixas distal e mesial, considerando os 4 mm de profundidade, mostrou que houve diferença estatisticamente significativa entre eles ($p < 0,05$) (Tabela 5.6).

Tabela 5.5 – Resultados da ANOVA para os fatores tempo de fotoativação e resina composta

	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F	p
Tempo	1	196,30856	196,30856	1403,45629	0
Resina Composta	1	603,93713	603,93713	4317,68934	0
Interação	1	1,77062	1,77062	12,65859	0,00262
Resíduo	16	2,238	0,13988	-	-

Tabela 5.6 – Resultados do teste t utilizado para comparar os valores de dureza obtidos nas caixas distal e mesial, considerando os 4 mm de profundidade

t	Grau de Liberdade	p
-2,66009	158	0,00862

Considerando um nível de significância de 0,05, a diferença entre as médias dos grupos é significativamente diferente de 0.

As figuras 5.9 e 5.10 apresentam fotos dos espécimes confeccionados com auxílio da matriz feita com uso de dente humano após imersão em solvente. As fotos foram organizadas ao lado dos respectivos mapas de dureza, de acordo com o tempo de fotoativação e equipamento fotoativador utilizado. A figura 5.8 mostra os resultados obtidos a partir dos espécimes confeccionados com a resina composta Filtek Bulk Fill Posterior Restorative e a figura 5.9 apresenta os resultados obtidos a partir dos espécimes confeccionados com a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill.

Figura 5.9 - Fotos dos espécimes confeccionados com a resina composta Fitek Bulk Fill Posterior Restorative com auxílio da matriz feita com uso de dente humano após imersão em solvente ao lado dos respectivos mapas de dureza

Figura 5.10 - Fotos dos espécimes confeccionados com a resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill com auxílio da matriz feita com uso de dente humano após imersão em solvente ao lado dos respectivos mapas de dureza

A partir dos resultados obtidos na análise da potência em tempo real que chega ao fundo dos espécimes confeccionados com as resinas compostas Filtek Bulk Fill Posterior Restorative e Tetric EvoCeram Bulk Fill associadas aos quatro equipamentos fotoativadores, utilizando as matrizes de Delrin®, gráficos de potência (mW) em função do tempo (s) foram confeccionados (Gráfico 5.3). Os gráficos revelaram um aumento na potência que chega ao fundo dos espécimes com o decorrer do tempo.

Gráfico 5.3 - Potência em tempo real que chega ao fundo dos espécimes confeccionados utilizando as matrizes de Delrin®

Os dados do espectro de emissão da luz que alcança o fundo dos espécimes estão organizados no gráfico 5.4, ao lado do espectro de emissão da luz que é entregue ao topo das restaurações. A porcentagem de luz violeta e azul que os equipamentos multi-pico fornecem também estão apresentados.

Gráfico 5.4 - Espectro de emissão da luz que alcança o fundo dos espécimes

A transmissão de luz através da matriz confeccionada com uso de dente humano preenchida com as resinas compostas Filtek Bulk Fill Posterior Restorative e Tetric EvoCeram Bulk Fill estão representados nas figuras 5.11 e 5.12, respectivamente. Quando o equipamento fotoativador Celalux 3, que possui ponteira com diâmetro pequeno, é posicionado no centro da matriz confeccionada com uso de dente humano, pouca luz chega nas caixas proximais. Quando a ponteira desse equipamento é posicionada sobre uma das caixas proximais, nenhuma luz chega na outra caixa proximal. Quando o equipamento Valo Grand, que possui ponteira com diâmetro grande, é posicionado no centro da matriz, uma maior irradiância chega no fundo das caixas proximais.

Figura 5.11 - Transmissão de luz através da matriz confeccionada com uso de dente humano utilizando a resina Filtek Bulk Fill Posterior Restorative

Figura 5.12 - Transmissão de luz através da matriz confeccionada com uso de dente humano utilizando a resina Tetric EvoCeram Bulk Fill

6 DISCUSSÃO

Os equipamentos fotoativadores utilizados no presente estudo apresentaram diferenças quanto ao diâmetro da ponteira, à potência, à irradiância, ao espectro de emissão e à homogeneidade do feixe de luz, sendo que estudos já haviam reportado que diferentes equipamentos fotoativadores podem apresentar diferenças quanto a essas características.^{6, 47} Houve discrepância entre os valores mensurados e as informações fornecidas pelos fabricantes desses equipamentos, o que pode ser observado comparando as informações das tabelas 4.1 e 5.1. Com relação ao diâmetro da ponteira, essas diferenças aconteceram porque somente o fabricante do equipamento Valo Grand considerou o diâmetro que efetivamente emite luz em suas informações. Os outros fabricantes consideraram o diâmetro externo da ponteira. Isso pode levar a erros, principalmente no cálculo da irradiância do equipamento, já que seu cálculo depende da área de emissão da luz.

As informações de irradiância fornecidas pelos fabricantes tiveram uma diferença de aproximadamente 15% quando comparada aos valores calculados no presente estudo, com exceção do valor fornecido para o equipamento Valo Grand, que foi próximo ao valor mensurado, apresentando diferença de aproximadamente 1%. Apesar de apresentar o maior valor de potência, o equipamento Valo Grand apresentou o menor valor de irradiância. Isso se deve ao fato de a irradiância ser dependente da área da ponteira do fotoativador. Pequenas alterações no diâmetro da ponteira do fotoativador podem levar a grandes diferenças na irradiância dele. Menores ponteiras levam a maiores valores de irradiância, já que ela é calculada pela divisão da potência pela área da ponteira do equipamento que emite luz.⁷ O diâmetro da ponteira dos equipamentos fotoativadores variou entre os equipamentos fotoativadores utilizados, sendo que o menor diâmetro foi obtido na mensuração no equipamento Celalux 3, com 7,1 mm, enquanto o maior diâmetro foi obtido na mensuração do equipamento Valo Grand, com 11,6 mm. Sendo assim, o Valo Grand possui uma área aproximadamente 66 mm² maior do que a do Celalux 3. Isso faria com que, se ambos os equipamentos tivessem uma potência de 1000 mW, por exemplo, o Celalux 3 apresentaria irradiância de aproximadamente 2500 mW/cm², enquanto o Valo Grand apresentaria irradiância de aproximadamente 950 mW/cm². Entretanto, altos valores de irradiância podem levar a mais tensões durante a reação

de polimerização,⁷³ já que a reação acontece mais rapidamente e o alívio das tensões não é possível, além de menores graus de conversão, já que mais radicais livres são formados ao mesmo tempo, levando a uma maior taxa de terminação bi-radical e consequente paralização da formação da cadeia polimérica.⁷⁴

Com relação ao espectro de emissão dos equipamentos fotoativadores, os picos de comprimento de onda emitidos foram diferentes (Gráfico 5.1), sendo que os equipamentos Celalux 3 e Elipar DeepCure-S emitem luz somente com o pico de luz azul, enquanto os equipamentos Bluephase 20i e Valo Grand emitem luz com mais de um pico. Levando em consideração que o espectro de emissão de luz dos equipamentos fotoativadores pode influenciar na fotoativação das resinas compostas que possuem fotoiniciadores alternativos à canforoquinona em sua composição,^{10, 61} as informações de espectro de emissão são importantes para a identificação da emissão de luz num espectro mais estreito, somente com luz azul, ou num espectro mais amplo, envolvendo também a luz violeta. Também houve uma grande variação na homogeneidade do feixe de luz emitido pelos equipamentos fotoativadores (Figura 5.2). Os equipamentos Bluephase 20i e Celalux 3 mostraram uma concentração da irradiância no centro de suas ponteiros, sendo que, no equipamento Celalux 3, essa concentração se dá nos 4 mm centrais de sua ponteira e no restante dela a irradiância emitida é baixa. Como o perfil do feixe de luz pode influenciar na polimerização das resinas compostas, essa característica pode ser preocupante, já que as regiões fotoativadas com as regiões externas da ponteira desse equipamento deve apresentar menor polimerização do que em seu centro.⁸⁵ Nos equipamentos Elipar DeepCure-S e Valo Grand pode ser observada uma distribuição de irradiância mais homogênea.

O efeito do distanciamento da ponteira do equipamento fotoativador pode ser notado quando as figuras 5.1 e 5.2 são comparadas. Na figura 5.2, pode ser observada uma dispersão da luz emitida pelos equipamentos fotoativadores, sendo ela causada pelo aumento da distância entre a ponteira e a superfície que recebeu a luz em 2 mm. A potência recebida continuou a mesma, mas como a luz passou a atingir uma área maior, que pode ser notada pelo círculo branco sobreposto aos perfis de feixe de luz, a irradiância é menor, conforme já reportado na literatura.^{34, 35} Também existe diferença entre a colimação de luz dos diferentes equipamentos estudados, sendo que o equipamento Celalux 3 possui a menor colimação, evidenciada pela maior diferença entre o diâmetro do círculo branco e o diâmetro do feixe de luz na figura 5.2. Porém, quando o equipamento Valo Grand é avaliado, não se observa

diferença entre os diâmetros do círculo branco e o perfil do feixe de luz, evidenciando sua maior colimação. Tendo em vista o efeito do distanciamento da ponteira dos equipamentos fotoativadores; no presente estudo, a fotoativação foi feita com uma distância de 2 mm entre a ponteira dos equipamentos e a superfície dos espécimes feitos tanto com a matriz de Delrin®, como com a matriz confeccionada com uso de dente humano. Isso foi feito com o intuito de reproduzir as situações clínicas onde a altura das cúspides dos dentes faz com que haja distância semelhante entre a ponteira dos equipamentos fotoativadores e a superfície das restaurações.

Os mapas de dureza feitos com os resultados dos espécimes confeccionados com matriz de Delrin® (Figuras 5.3 e 5.4) e os resultados da ANOVA (Tabela 5.2) mostraram que existe diferença entre a dureza das duas resinas compostas testadas ($p < 0,05$). Isso era esperado, já que a composição das duas resinas é diferente, e isso pode alterar os resultados de dureza.⁸ A ANOVA também revelou que existe diferença estatisticamente significativa entre as superfícies de topo e fundo dos espécimes ($p < 0,05$) (Tabela 5.2). A luz que chega no fundo das restaurações tem menor irradiância do que a luz que atinge o topo dos espécimes e isso influencia na dureza dessas superfícies. Então, foram feitas avaliações comparando os dados de cada resina e superfície separadamente, com a variação das regiões e dos equipamentos fotoativadores (Tabela 5.3). A ANOVA revelou menor variabilidade na dureza das superfícies dos espécimes quando o Valo Grand foi utilizado. Quando os equipamentos Celalux 3 e Bluephase 20i, que possuem ponteiros de menor diâmetro, foram utilizados, houve diferença entre as regiões central, intermediária e a externa dos espécimes ($p < 0,05$). Além do diâmetro da ponteira, outro fator que pode ter influenciado na homogeneidade da dureza dos espécimes é a homogeneidade dos feixes de luz, sendo que a utilização de equipamentos com menor homogeneidade de feixe de luz resultou em espécimes com menor homogeneidade de dureza. A polimerização das resinas compostas no exterior desses espécimes é prejudicada e isso resulta em menores propriedades mecânicas nessas regiões.^{84, 85}

A utilização dos equipamentos fotoativadores multi-pico resultou em piores resultados de dureza no fundo dos espécimes confeccionados a partir das matrizes de Delrin®, enquanto na superfície de topo esse efeito não foi observado. Isso deve ter acontecido porque pouca luz violeta consegue atingir o fundo dos espécimes, como já reportado na literatura^{10, 15} e mostrado no gráfico 5.4. Uma alteração na proporção entre luz azul e violeta pode ser observada quando comparado o espectro de emissão

da luz que atinge o topo dos espécimes e a luz que chega ao fundo deles, sendo que a porcentagem de luz violeta chegou a cair de 26% (topo) para 2% (fundo). Isso acontece por causa da diferença entre os comprimentos de onda da luz violeta (400 nm) e da luz azul (460 nm), sendo que, como a luz azul tem maior comprimento de onda, ela atravessa a resina composta com menor influência da refração pelas partículas de carga.⁶⁷

Os mapas de dureza feitos a partir dos valores mensurados nos espécimes confeccionados com a matriz feita com uso de dente humano (Figuras 5.7 e 5.8) evidenciaram as diferenças entre as resinas compostas utilizadas já observadas nas figuras 5.4 e 5.5. Foi observada uma diminuição na dureza de acordo com o aumento na profundidade das mensurações. Os diferentes equipamentos fotoativadores e a posição das mensurações influenciaram na dureza dos materiais (Tabela 5.4). Entretanto, mesmo com a utilização do Valo Grand, que possui a maior ponteira e maior homogeneidade do feixe de luz, houve uma diferença estatisticamente significativa entre a dureza no centro e a dureza na mesial e distal ($p < 0,05$), diferente do que foi observado na matriz de Delrin®. Isso pode ter acontecido porque um guia de silicone foi utilizado como anteparo para a definição do formato das restaurações e esse silicone não permitia a passagem nem a transmissão de luz, diferentemente da matriz de Delrin®, que é branca. As características do molde exercem influência na polimerização das resinas compostas,⁹⁴ sendo que um silicone opaco de coloração escura foi utilizado nesse estudo para simular uma matriz metálica, geralmente utilizada na confecção de restaurações de classe II em resina composta. Também houve a preocupação com a inibição da polimerização que poderia ser causada pelo silicone. Porém, esse silicone tem a capacidade de alterar a polimerização de apenas uma camada muito superficial da restauração, de aproximadamente 10 μm ,³⁰ que era afastada de onde as endentações foram feitas. Uma diferença estatisticamente significativa entre o lado mesial e o lado distal também foi observada nos 4 mm de profundidade ($p < 0,05$) (Tabela 5.6). Isso pode ter acontecido devido à não homogeneidade do feixe de luz e da concentração de comprimentos de onda violeta em regiões específicas da ponteira dos equipamentos fotoativadores, conforme figura 2. Entretanto, a distribuição da luz violeta deveria ter afetado somente os espécimes fotoativados com os equipamentos fotoativadores multi-pico, e a diferença entre as caixas proximais também foi observada nos equipamentos de pico único. Outro fator que pode ter influenciado na polimerização dos espécimes é a variação no

posicionamento da ponteira dos equipamentos fotoativadores. O aumento do tempo de fotoativação influencia na polimerização do material^{62, 78} e isso foi observado no presente estudo com o aumento da dureza quando o tempo de 20 segundos foi utilizado ($p < 0,05$) (Tabela 5.5), sendo esse aumento observado para ambas as resinas compostas.

Os valores de dureza mensurados no fundo das caixas proximais foram baixos. Isso se deve à dificuldade do acesso da luz dos equipamentos fotoativadores no fundo das caixas e à opacidade e coloração do silicone utilizado para a definição do formato das restaurações. Além disso, o volume reduzido de material presente nas caixas proximais também pode ter levado a uma menor dureza nessas regiões. Um volume maior de material leva a um maior aumento de temperatura durante a reação de polimerização, e esse aumento de temperatura leva a uma diminuição da viscosidade do material e a um aumento da mobilidade molecular, o que leva a uma maior conversão de monômeros.⁶³ Entretanto, se for muito acentuado, esse aumento da temperatura pode causar prejuízos à polpa dental. Os valores baixos de dureza no fundo das caixas proximais são preocupantes em situações clínicas, pois essas regiões são de difícil acesso para a higienização e, se houverem falhas nessas regiões, elas não são facilmente detectadas, sendo que o risco de caries secundárias pode ser aumentado. Além disso, num mesmo material, uma microdureza reduzida indica um menor grau de conversão e está relacionada a uma maior quantidade de monômeros residuais presentes no material e, conseqüentemente, menor biocompatibilidade.^{9, 75}

O solvente pós polimerização foi utilizado a fim de remover os monômeros residuais dos espécimes e esse efeito pode ser observado nas imagens 5.5, 5.6, 5.9 e 5.10. Os espécimes confeccionados com as duas resinas compostas reagiram de forma diferente à imersão em solvente. Os espécimes confeccionados com a Filtek Bulk Fill Posterior Restorative não foram alterados após a imersão em solvente, enquanto os espécimes confeccionados com a Tetric EvoCeram Bulk Fill tiveram alteração, que pode ser visualmente notada. Essa diferença deve ter acontecido devido às diferentes composições desses dois materiais,⁹⁵ sendo que tanto a matriz orgânica quanto a quantidade e composição das partículas de carga são diferentes nessas duas resinas compostas. Nos espécimes confeccionados com a matriz de Delrin® utilizando a Tetric EvoCeram Bulk Fill (Figura 5.6), uma porosidade nas regiões mais externas pode ser observada quando os equipamentos fotoativadores

com ponteira de menor diâmetro foram utilizados, assim como uma maior porosidade também foi observada nessa situação quando a matriz feita com uso de dente humano foi utilizada (Figura 5.10). Fazendo uma comparação visual entre as fotos dos espécimes e seus mapas de dureza, pode se notar uma maior porosidade nas regiões correspondentes a menores valores de dureza. Entretanto, o efeito desse solvente é dependente do material utilizado e nesse estudo foi feita uma comparação apenas visual.

A luz que alcança o fundo dos espécimes tem sua potência cerca de 90% menor do que a luz que atinge o seu topo (Gráfico 5.4). Essa diminuição ocorre porque parte da energia luminosa é consumida durante a reação de polimerização e parte da luz é refletida para fora do espécime. O valor da potência que chega ao fundo do espécime medida em tempo real mostra que ocorre um aumento nos valores de acordo com o tempo (Gráfico 5.3). Esse aumento na transmissão de luz ocorre, em parte, por conta do aumento da temperatura gerada pelos equipamentos fotoativadores. Outro fator que leva a esse aumento é a mudança no índice de refração da matriz orgânica durante a reação de polimerização.⁶⁵ No início da reação, os índices de refração da matriz orgânica e da carga são diferentes, o que leva a uma maior perda de luz. Conforme a reação de polimerização avança e o índice de refração da matriz orgânica muda, ele se torna mais parecido com o índice de refração das partículas de carga, permitindo uma maior passagem de luz. No gráfico 5.4, também se observa uma menor penetração da luz violeta. Tendo em vista a maior profundidade de polimerização que os fabricantes preconizam para as resinas composta *bulk fill*, uma menor penetração da luz característica de menores comprimentos de onda podem levar a uma polimerização inadequada das regiões mais profundas de restaurações.¹⁰ Além disso, o uso de fotoiniciadores alternativos, como o Lucerin TPO, em resinas composta *bulk fill* pode ser desaconselhável, pois no fundo da restauração chegará pouca luz capaz de sensibilizar o material e a polimerização dessa região será comprometida. Entretanto, o fotoiniciador alternativo Ivocerin, inserido na composição da resina composta Tetric EvoCeram Bulk Fill, possui sua absorção num espectro mais próximo da luz azul, sendo sensibilizado também pela luz azul.

As figuras 5.11 e 5.12 mostram que o posicionamento das ponteiros dos equipamentos fotoativadores influencia na luz que chega no fundo das caixas proximais. Quando um equipamento fotoativador que possui ponteira com diâmetro

pequeno, como o Celalux 3, é posicionado no centro da restauração, pouca luz chega nas caixas proximais de uma restauração MOD. Isso também pode explicar os baixos valores de dureza obtidos no fundo das caixas proximais dos espécimes confeccionados com a matriz feita com uso de dente humano. Quando a ponteira desse equipamento é posicionada sobre uma das caixas proximais, nenhuma luz chega na outra caixa proximal, podendo indicar a necessidade de mais pontos de fotoativação. Com a utilização de um equipamento com diâmetro da ponteira pequeno, três pontos de fotoativação podem ser necessárias: um em cada caixa proximal e um no centro da restauração. Entretanto, as imagens 5.11 e 5.12 são referentes a somente uma repetição para cada situação e somente uma análise visual foi feita, baseada numa escala de porcentagem de irradiância máxima.

Tendo em vista os dados obtidos no presente estudo, existe a necessidade do fornecimento das características dos equipamentos fotoativadores por parte dos fabricantes, e que devem ser checadas pelos pesquisadores, já que os tempos de fotoativação recomendados pelos fabricantes podem não ser suficiente para correta polimerização do material. Também se faz necessário um treinamento adequado para a correta polimerização, principalmente considerando as resinas compostas *bulk fill*, que propõe o uso de grandes porções, tanto em profundidade, como em largura. Somente com as informações e o treinamento adequados, os cirurgiões-dentistas terão a possibilidade de realizar a fotoativação de restaurações com segurança, elevando o material a um maior desempenho clínico.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e na metodologia utilizada, pode-se concluir que:

- Os quatro equipamentos fotoativadores apresentaram diferenças entre si em todas as características avaliadas: diâmetro da ponteira, potência, irradiância, espectro de emissão e homogeneidade do feixe de luz, sendo que os dados fornecidos pelos fabricantes desses equipamentos apresentaram imprecisões;

- Equipamentos fotoativadores com maiores diâmetros da ponteira e espectro de emissão de luz azul, associados a maiores tempos de fotoativação, promoveram melhor qualidade de polimerização e deveriam ser utilizados para a fotoativação de restaurações em resinas *bulk fill*.

- A quantidade de luz violeta que atinge o fundo das restaurações é pequena e isso afeta a dureza nessa região.

Assim, a escolha correta do equipamento fotoativador e seu protocolo de uso são essenciais para a correta confecção de restaurações em resina *bulk fill*.

REFERÊNCIAS¹

1. Kessler R. The Minamata Convention on Mercury: a first step toward protecting future generations. *Environ Health Perspect.* 2013;121(10):A304-9.
2. Rekow ED, Fox CH, Petersen PE, Watson T. Innovations in materials for direct restorations: why do we need innovations? Why is it so hard to capitalize on them? *J Dent Res.* 2013;92(11):945-7.
3. Da Rosa Rodolpho PA, Donassollo TA, Cenci MS, Loguercio AD, Moraes RR, Bronkhorst EM, et al. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. *Dent Mater.* 2011;27(10):955-63.
4. Van Nieuwenhuysen JP, D'Hoore W, Carvalho J, Qvist V. Long-term evaluation of extensive restorations in permanent teeth. *J Dent.* 2003;31(6):395-405.
5. Cetin AR, Unlu N, Cobanoglu N. A five-year clinical evaluation of direct nanofilled and indirect composite resin restorations in posterior teeth. *Oper Dent.* 2013;38(2):E1-11.
6. Shimokawa CA, Turbino ML, Harlow JE, Price HL, Price RB. Light output from six battery operated dental curing lights. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2016;69:1036-42.
7. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-Curing Units: A Review of What We Need to Know. *J Dent Res.* 2015;94(9):1179-86.
8. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011;27(1):29-38.
9. Durner J, Obermaier J, Draenert M, Ilie N. Correlation of the degree of conversion with the amount of elutable substances in nano-hybrid dental composites. *Dent Mater.* 2012;28(11):1146-53.
10. Rocha MG, de Oliveira D, Correa IC, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti M, Ferracane JL, et al. Light-emitting Diode Beam Profile and Spectral Output Influence on the Degree of Conversion of Bulk Fill Composites. *Oper Dent.* 2017.

¹ De acordo com Estilo Vancouver.

11. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater.* 2012;28(5):521-8.
12. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater.* 2014;30(2):149-54.
13. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Honore D, Pedersen MK, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Oper Dent.* 2015;40(2):190-200.
14. Price RB, Rueggeberg FA, Labrie D, Felix CM. Irradiance uniformity and distribution from dental light curing units. *J Esthet Restor Dent.* 2010;22(2):86-101.
15. Harlow JE, Rueggeberg FA, Labrie D, Sullivan B, Price RB. Transmission of violet and blue light through conventional (layered) and bulk cured resin-based composites. *J Dent.* 2016;53:44-50.
16. Ilie N, Stark K. Curing behaviour of high-viscosity bulk-fill composites. *J Dent.* 2014;42(8):977-85.
17. Ferracane JL. Buonocore Lecture. Placing dental composites--a stressful experience. *Oper Dent.* 2008;33(3):247-57.
18. Anusavice KJ. *Philips materiais dentários*. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan; 2005.
19. Ferracane JL, Hilton TJ. Polymerization stress--is it clinically meaningful? *Dent Mater.* 2016;32(1):1-10.
20. Brouwer F, Askar H, Paris S, Schwendicke F. Detecting Secondary Caries Lesions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res.* 2016;95(2):143-51.
21. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater.* 2005;21(10):962-70.

22. Garoushi S, Vallittu P, Shinya A, Lassila L. Influence of increment thickness on light transmission, degree of conversion and micro hardness of bulk fill composites. *Odontology*. 2016;104(3):291-7.

23. Lopes GC, Baratieri LN, Monteiro S, Jr., Vieira LC. Effect of posterior resin composite placement technique on the resin-dentin interface formed in vivo. *Quintessence Int*. 2004;35(2):156-61.

24. Ivoclar Vivadent. Tetric EvoCeram Bulk Fill – Product Brochure [Internet]. Amherst NY [citado 02 maio 2017]. Disponível em: <http://www.ivoclarvivadent.us/en-us/productcategories/fill/tetric-evoceram-bulk-fill>.

25. 3M ESPE. Filtek Bulk Fill Posterior Restorative – Product Brochure [Internet]. St. Paul MN [citado 02 maio 2017]. Disponível em: <http://multimedia.3m.com/mws/media/976479O/filtek-bulk-fill-posterior-restorative-procedure-brochure.pdf>

26. Moorthy A, Hogg CH, Dowling AH, Grufferty BF, Benetti AR, Fleming GJ. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *J Dent*. 2012;40(6):500-5.

27. Yu P, Yap A, Wang XY. Degree of Conversion and Polymerization Shrinkage of Bulk-Fill Resin-Based Composites. *Oper Dent*. 2017;42(1):82-9.

28. Tomaszewska IM, Kearns JO, Ilie N, Fleming GJ. Bulk fill restoratives: to cap or not to cap--that is the question? *J Dent*. 2015;43(3):309-16.

29. Martins NM, Schmitt GU, Oliveira HL, Madruga MM, Moraes RR, Cenci MS. Contamination of Composite Resin by Glove Powder and Saliva Contaminants: Impact on Mechanical Properties and Incremental Layer Debonding. *Oper Dent*. 2015;40(4):396-402.

30. Chen L, Kleverlaan CJ, Liang K, Yang D. Effect of polyvinyl siloxane impression material on the polymerization of composite resin. *J Prosthet Dent*. 2016.

31. Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. *Oper Dent*. 2013;38(6):618-25.

32. Ibarra ET, Lien W, Casey J, Dixon SA, Vandewalle KS. Physical properties of a new sonically placed composite resin restorative material. *Gen Dent*. 2015;63(3):51-6.
33. Ferracane JL. Resin-based composite performance: are there some things we can't predict? *Dent Mater*. 2013;29(1):51-8.
34. Thome T, Steagall W, Jr., Tachibana A, Braga SR, 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(6):486-91.
35. Price RB, Labrie D, Whalen JM, Felix CM. Effect of distance on irradiance and beam homogeneity from 4 light-emitting diode curing units. *J Can Dent Assoc*. 2011;77:b9.
36. Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring--a review. *Dent Mater*. 2011;27(1):39-52.
37. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig*. 2014;18(8):1991-2000.
38. Jang JH, Park SH, Hwang IN. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent*. 2015;40(2):172-80.
39. Francis AV, Braxton AD, Ahmad W, Tantbirojn D, Simon JF, Versluis A. Cuspal Flexure and Extent of Cure of a Bulk-fill Flowable Base Composite. *Oper Dent*. 2015;40(5):515-23.
40. Mjor IA, Shen C, Eliasson ST, Richter S. Placement and replacement of restorations in general dental practice in Iceland. *Oper Dent*. 2002;27(2):117-23.
41. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM, Loomans BA. A retrospective clinical study on longevity of posterior composite and amalgam restorations. *Dent Mater*. 2007;23(1):2-8.
42. Lempel E, Czibulya Z, Kovacs B, Szalma J, Toth A, Kunsagi-Mate S, et al. Degree of Conversion and BisGMA, TEGDMA, UDMA Elution from Flowable Bulk Fill Composites. *Int J Mol Sci*. 2016;17(5).

43. Marigo L, Spagnuolo G, Malara F, Martorana GE, Cordaro M, Lupi A, et al. Relation between conversion degree and cytotoxicity of a flowable bulk-fill and three conventional flowable resin-composites. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2015;19(23):4469-80.
44. Kopperud SE, Rukke HV, Kopperud HM, Bruzell EM. Light curing procedures - performance, knowledge level and safety awareness among dentists. *J Dent*. 2017;58:67-73.
45. Shortall AC, Price RB, MacKenzie L, Burke FJ. Guidelines for the selection, use, and maintenance of LED light-curing units - Part II. *Br Dent J*. 2016;221(9):551-4.
46. Shortall AC, Price RB, MacKenzie L, Burke FJ. Guidelines for the selection, use, and maintenance of LED light-curing units - Part 1. *Br Dent J*. 2016;221(8):453-60.
47. Harlow JE, Sullivan B, Shortall AC, Labrie D, Price RB. Characterizing the output settings of dental curing lights. *J Dent*. 2016;44:20-6.
48. Jandt KD, Mills RW. A brief history of LED photopolymerization. *Dent Mater*. 2013;29(6):605-17.
49. Roulet JF, Price R. Light curing - guidelines for practitioners - a consensus statement from the 2014 symposium on light curing in dentistry held at Dalhousie University, Halifax, Canada. *J Adhes Dent*. 2014;16(4):303-4.
50. Platt JA, Price RB. Light curing explored in Halifax. *Oper Dent*. 2014;39(6):561-3.
51. ISO 10650. Dentistry -- Powered polymerization activators
52. Kameyama A, Haruyama A, Asami M, Takahashi T. Effect of emitted wavelength and light guide type on irradiance discrepancies in hand-held dental curing radiometers. *ScientificWorldJournal*. 2013;2013:647941.
53. Shimokawa CA, Harlow JE, Turbino ML, Price RB. Ability of four dental radiometers to measure the light output from nine curing lights. *J Dent*. 2016;54:48-55.

54. Shortall AC, Harrington E, Wilson HJ. Light curing unit effectiveness assessed by dental radiometers. *J Dent.* 1995;23(4):227-32.
55. Price RB, Labrie D, Kazmi S, Fahey J, Felix CM. Intra- and inter-brand accuracy of four dental radiometers. *Clin Oral Investig.* 2012;16(3):707-17.
56. de Magalhaes Filho TR, Weig Kde M, Werneck MM, da Costa Neto CA, da Costa MF. Odontological light-emitting diode light-curing unit beam quality. *J Biomed Opt.* 2015;20(5):55005.
57. Haenel T, Hausnerova B, Steinhaus J, Price RB, Sullivan B, Moeginger B. Effect of the irradiance distribution from light curing units on the local micro-hardness of the surface of dental resins. *Dent Mater.* 2015;31(2):93-104.
58. Vandewalle KS, Roberts HW, Rueggeberg FA. Power distribution across the face of different light guides and its effect on composite surface microhardness. *J Esthet Restor Dent.* 2008;20(2):108-17; discussion 18.
59. Michaud PL, Price RB, Labrie D, Rueggeberg FA, Sullivan B. Localised irradiance distribution found in dental light curing units. *J Dent.* 2014;42(2):129-39.
60. Price RB, Labrie D, Rueggeberg FA, Felix CM. Irradiance differences in the violet (405 nm) and blue (460 nm) spectral ranges among dental light-curing units. *J Esthet Restor Dent.* 2010;22(6):363-77.
61. Issa Y, Watts DC, Boyd D, Price RB. Effect of curing light emission spectrum on the nanohardness and elastic modulus of two bulk-fill resin composites. *Dent Mater.* 2016;32(4):535-50.
62. Bennett AW, Watts DC. Performance of two blue light-emitting-diode dental light curing units with distance and irradiation-time. *Dent Mater.* 2004;20(1):72-9.
63. Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Effect of temperature on composite polymerization stress and degree of conversion. *Dent Mater.* 2014;30(6):613-8.
64. Cardoso KA, Zarpellon DC, Madruga CF, Rodrigues JA, Arrais CA. Effects of radiant exposure values using second and third generation light curing units on the degree of conversion of a lucirin-based resin composite. *J Appl Oral Sci.* 2017;25(2):140-6.

65. Shortall AC, Palin WM, Burtcher P. Refractive index mismatch and monomer reactivity influence composite curing depth. *J Dent Res*. 2008;87(1):84-8.
66. Ilie N, Hickel R. Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDR technology. *Dent Mater*. 2011;27(4):348-55.
67. Kim JJ, Moon HJ, Lim BS, Lee YK, Rhee SH, Yang HC. The effect of nanofiller on the opacity of experimental composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2007;80(2):332-8.
68. Price RB, Felix CA. Effect of delivering light in specific narrow bandwidths from 394 to 515nm on the micro-hardness of resin composites. *Dent Mater*. 2009;25(7):899-908.
69. Santini A, Miletic V, Swift MD, Bradley M. Degree of conversion and microhardness of TPO-containing resin-based composites cured by polywave and monowave LED units. *J Dent*. 2012;40(7):577-84.
70. 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 Dent*. 2012;40(2):106-13.
71. MM AL, Haenel T, Sullivan B, Labrie D, Alqahtani MQ, Price RB. Effect of a broad-spectrum LED curing light on the Knoop microhardness of four posterior resin based composites at 2, 4 and 6-mm depths. *J Dent*. 2016;45:14-8.
72. Dewaele M, Asmussen E, Peutzfeldt A, Munksgaard EC, Benetti AR, Finne G, et al. Influence of curing protocol on selected properties of light-curing polymers: degree of conversion, volume contraction, elastic modulus, and glass transition temperature. *Dent Mater*. 2009;25(12):1576-84.
73. Shimokawa CA, Carneiro PM, Lobo TR, Arana-Chavez VE, Youssef MN, Turbino ML. Five second photoactivation? A microhardness and marginal adaptation in vitro study in composite resin restorations. *Int Dent J*. 2016;66(5):257-63.
74. Feng L, Carvalho R, Suh BI. Insufficient cure under the condition of high irradiance and short irradiation time. *Dent Mater*. 2009;25(3):283-9.

75. Hogg C, Maier M, Dettinger-Maier K, He X, Rothmund L, Kehe K, et al. Effect of various light curing times on the elution of composite components. *Clin Oral Investig*. 2016;20(8):2113-21.
76. Rueggeberg FA, Cole MA, Looney SW, Vickers A, Swift EJ. Comparison of manufacturer-recommended exposure durations with those determined using biaxial flexure strength and scraped composite thickness among a variety of light-curing units. *J Esthet Restor Dent*. 2009;21(1):43-61.
77. Busemann I, Lipke C, Schattenberg A, Willershausen B, Ernst CP. Shortest exposure time possible with LED curing lights. *Am J Dent*. 2011;24(1):37-44.
78. Tarle Z, Attin T, Marovic D, Andermatt L, Ristic M, Taubock TT. Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig*. 2015;19(4):831-40.
79. Savas S, Botsali MS, Kucukyilmaz E, Sari T. Evaluation of temperature changes in the pulp chamber during polymerization of light-cured pulp-capping materials by using a VALO LED light curing unit at different curing distances. *Dent Mater J*. 2014;33(6):764-9.
80. Runnacles P, Arrais CA, Pochapski MT, Dos Santos FA, Coelho U, Gomes JC, et al. In vivo temperature rise in anesthetized human pulp during exposure to a polywave LED light curing unit. *Dent Mater*. 2015;31(5):505-13.
81. Runnacles P, Arrais CA, Pochapski MT, dos Santos FA, Coelho U, Gomes JC, et al. Direct measurement of time-dependent anesthetized in vivo human pulp temperature. *Dent Mater*. 2015;31(1):53-9.
82. Mahant RH, Chokshi S, Vaidya R, Patel P, Vora A, Mahant P. Comparison of the Amount of Temperature Rise in the Pulp Chamber of Teeth Treated With QTH, Second and Third Generation LED Light Curing Units: An In Vitro Study. *J Lasers Med Sci*. 2016;7(3):184-91.
83. Bhatt S, Ayer CD, Price RB, Perry R. Effect of curing light and restoration location on energy delivered. *Compend Contin Educ Dent*. 2015;36(3):208-10, 12, 14.
84. Price RB, Labrie D, Rueggeberg FA, Sullivan B, Kostylev I, Fahey J. Correlation between the beam profile from a curing light and the microhardness of four resins. *Dent Mater*. 2014;30(12):1345-57.

85. Magalhaes Filho TR, Weig KM, Costa MF, Werneck MM, Barthem RB, Costa Neto CA. Effect of LED-LCU light irradiance distribution on mechanical properties of resin based materials. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2016;63:301-7.
86. Rode KM, Kawano Y, Turbino ML. Evaluation of curing light distance on resin composite microhardness and polymerization. *Oper Dent*. 2007;32(6):571-8.
87. Catelan A, Santo MR, Menegazzo LM, Moraes JC, dos Santos PH. Effect of light curing modes on mechanical properties of direct and indirect composites. *Acta Odontol Scand*. 2013;71(3-4):697-702.
88. Zorzin J, Maier E, Harre S, Fey T, Belli R, Lohbauer U, et al. Bulk-fill resin composites: polymerization properties and extended light curing. *Dent Mater*. 2015;31(3):293-301.
89. Al-Ahdal K, Ilie N, Silikas N, Watts DC. Polymerization kinetics and impact of post polymerization on the Degree of Conversion of bulk-fill resin-composite at clinically relevant depth. *Dent Mater*. 2015;31(10):1207-13.
90. Turbino ML, Belan LC, Soprano V, Rode KM, Lloret PR, Youssef MN. Argon ion laser curing depth effect on a composite resin. *Lasers Med Sci*. 2011;26(4):421-5.
91. Rode KM, de Freitas PM, Lloret PR, Powell LG, Turbino ML. Micro-hardness evaluation of a micro-hybrid composite resin light cured with halogen light, light-emitting diode and argon ion laser. *Lasers Med Sci*. 2009;24(1):87-92.
92. ISO 4049. Dentistry -- Polymer-based restorative materials
93. 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(4):408-12.
94. Price RB, Rueggeberg FA, Harlow J, Sullivan B. Effect of mold type, diameter, and uncured composite removal method on depth of cure. *Clin Oral Investig*. 2016;20(7):1699-707.
95. Sunbul HA, Silikas N, Watts DC. Surface and bulk properties of dental resin-composites after solvent storage. *Dent Mater*. 2016;32(8):987-97.

96. Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. *J Dent*. 2014;42(4):439-49.
97. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LE, Martin AA, et al. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater*. 2015;31(12):1542-51.
98. Fronza BM, Ayres A, Pacheco RR, Rueggeberg FA, Dias C, Giannini M. Characterization of Inorganic Filler Content, Mechanical Properties, and Light Transmission of Bulk-fill Resin Composites. *Oper Dent*. 2017.
99. Piskin MB, Atali PY, Figen AK. Thermal, spectral, and surface properties of LED light-polymerized bulk fill resin composites. *Biomed Tech (Berl)*. 2015;60(1):65-75.
100. Par M, Lapas-Barisic M, Gamulin O, Panduric V, Spanovic N, Tarle Z. Long Term Degree of Conversion of two Bulk-Fill Composites. *Acta Stomatol Croat*. 2016;50(4):292-300.
101. AlQahtani MQ, Michaud PL, Sullivan B, Labrie D, AlShaafi MM, Price RB. Effect of High Irradiance on Depth of Cure of a Conventional and a Bulk Fill Resin-based Composite. *Oper Dent*. 2015;40(6):662-72.
102. Li X, Pongprueksa P, Van Meerbeek B, De Munck J. Curing profile of bulk-fill resin-based composites. *J Dent*. 2015;43(6):664-72.
103. Miletic V, Pongprueksa P, De Munck J, Brooks NR, Van Meerbeek B. Curing characteristics of flowable and sculptable bulk-fill composites. *Clin Oral Investig*. 2016.

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da FOU SP

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Restaurações rápidas? Estudo in vitro de microdureza e adaptação marginal de restaurações em resinas bulk fill

Pesquisador: Míriam Lacalle Turbino

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 46371015.1.0000.0075

Instituição Proponente: Universidade de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.167.899

Data da Relatoria: 03/08/2015

Apresentação do Projeto:

A confecção de restaurações em resina composta é uma prática frequente nos consultórios odontológicos, pois esse material torna possível o restabelecimento estético e funcional dos dentes.

Outro fator que leva ao aumento do número de restaurações em resina composta é uma crescente preocupação com aspectos ambientais e biológicos em relação a produtos que possuem mercúrio em sua composição, como o amálgama de prata. Estudos para o aprimoramento e desenvolvimento de materiais restauradores livres de mercúrio tem sido estimulados (Kessler, 2013; Rekow et al., 2013).

A evolução das resinas compostas tem possibilitado a realização de restaurações eficazes, havendo estudos clínicos que comprovam sua qualidade como material restaurador. As resinas podem, inclusive, ser utilizadas em dentes posteriores, já que apresentam propriedades mecânicas satisfatórias (Van Nieuwenhuysen et al., 2003; Cetin et al., 2013).

Entretanto, as restaurações em resina composta são procedimentos que demandam tempo e têm técnica sensível, o que pode ser desconfortável para os pacientes e trabalhoso para os cirurgiões-dentistas.

Tendo isso em vista, foi desenvolvida uma categoria de resinas compostas denominada como

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-900

UF: SP

Município: SÃO PAULO

Telefone: (11)3091-7960

Fax: (11)3091-7814

E-mail: cepfo@usp.br

FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 1.167.899

resinas "bulk fill", cuja inserção do material é realizada em porção única nas cavidades a serem restauradas. O uso das resinas "bulk fill" propõe a vantagem do menor tempo necessário para a confecção de uma restauração, resultando em maior conforto para o paciente e facilidade para o cirurgião-dentista.

Objetivo da Pesquisa:

- 1- avaliar a viabilidade de restaurações confeccionadas em curto período de tempo, por meio da análise de sua microdureza e adaptação marginal;
- 2- verificar a influência do comprimento de onda da luz emitida por equipamentos fotoativadores na polimerização de restaurações em resina "bulk fill";
- 3- determinar o tempo de fotoativação necessário para a adequada polimerização de diferentes resinas compostas do tipo "bulk fill", utilizando diferentes equipamentos fotoativadores.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Não existem, já que somente serão utilizados dentes provenientes do banco de dentes humanos da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo. Os únicos riscos para o paciente serão os inerentes ao procedimento de exodontia, sendo que esses dentes já deveriam ser extraídos por algum motivo independente do estudo.

Benefícios:

Os benefícios relacionados a esse estudo serão: avaliação de restaurações em resina composta do tipo "bulk fill", material que foi recém introduzido no mercado brasileiro. Já existem alguns estudos envolvendo esse tipo de material, porém existem resultados controversos, além de que, nesse estudo, serão avaliadas restaurações confeccionadas com associações desse material com equipamentos fotoativadores diversos. Essas associações podem gerar restaurações em resina composta confeccionadas em curto período de tempo, o que pode ser de grande valia, tanto para os pacientes, como para os profissionais, em sua clínica diária. Apesar de o estudo ser "in vitro", ele pode simular o comportamento e propriedades de restaurações que serão realizadas "in vivo".

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

As restaurações em resina composta são procedimentos que demandam tempo e têm técnica

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-900

UF: SP

Município: SÃO PAULO

Telefone: (11)3091-7960

Fax: (11)3091-7814

E-mail: cepfo@usp.br

FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 1.167.899

sensível, o que pode ser desconfortável para os pacientes e trabalhoso para os cirurgiões-dentistas. Foi desenvolvida uma categoria de resinas compostas denominada como resinas "bulk fill", cuja inserção do material é realizada em porção única nas cavidades a serem restauradas. O uso das resinas "bulk fill" propõe a vantagem do menor tempo necessário para a confecção de uma restauração, resultando em maior conforto para o paciente e facilidade para o cirurgião-dentista. A pesquisa é relevante pois vais avaliar resinas com potencial de demandarem menor tempo na confecção.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de Rosto - OK

Projeto de pesquisa - OK

Carta banco de dentes - OK

Cronograma - OK

Recomendações:

Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados ao CEP-FOUSP relatórios parciais anuais referentes ao andamento da pesquisa e relatório final, utilizando-se da opção "Enviar Notificação" (descrita no Manual "Submeter Notificação", disponível na Central de Suporte - canto superior direito do site www.saude.gov.br/plataformabrasil).

Qualquer alteração no projeto original deve ser apresentada "emenda" a este CEP, de forma objetiva e com justificativas para nova apreciação.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto de pesquisa apresentou todos os requisitos necessários para ser aprovado.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-900

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-7960

Fax: (11)3091-7814

E-mail: cepfo@usp.br

FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 1.167.899

SAO PAULO, 03 de Agosto de 2015

Assinado por:
Maria Gabriela Haye Blazevic
(Coordenador)

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 05.508-900
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)3091-7960 **Fax:** (11)3091-7814 **E-mail:** cepfo@usp.br

ANEXO B – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da FOUSP (Emenda)

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**DADOS DA EMENDA**

Título da Pesquisa: Influência de características de equipamentos fotoativadores e tempos de fotoativação na polimerização de resinas compostas bulk fill

Pesquisador: Miriam Lacalle Turbino

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 46371015.1.0000.0075

Instituição Proponente: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.006.187

Apresentação do Projeto:

A evolução das resinas compostas tem possibilitado a realização de restaurações eficazes, havendo estudos clínicos que comprovam sua qualidade como material restaurador. As resinas podem, inclusive, ser utilizadas em dentes posteriores, já que apresentam propriedades mecânicas satisfatórias (Van Nieuwenhuysen et al., 2003; Cetin et al., 2013).

Entretanto, as restaurações em resina composta são procedimentos que demandam tempo e têm técnica sensível, o que pode ser desconfortável para os pacientes e trabalhoso para os cirurgiões-dentistas.

Tendo isso em vista, foi desenvolvida uma categoria de resinas compostas denominada como resinas bulk fill, cuja inserção do material é realizada em porção única nas cavidades a serem restauradas. O uso das resinas bulk fill propõe a vantagem do menor tempo necessário para a confecção de uma restauração, resultando em maior conforto para o paciente e facilidade para o cirurgião-dentista.

Outra vantagem é um menor risco de incorporação de bolhas ou contaminação entre os incrementos, quando comparado à técnica de inserção incremental. Contaminantes, como o talco das luvas de procedimentos e saliva, se incorporados à restauração, podem reduzir suas propriedades mecânicas (Martins et al., 2015).

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-900

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-7960

Fax: (11)3091-7814

E-mail: cepfo@usp.br

USP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 2.006.187

As primeiras gerações desse tipo de resina apresentavam baixa viscosidade e requeriam cobertura com uma camada final de resina composta convencional, devido às suas baixas propriedades mecânicas (Ilie et al., 2013).

Gerações mais recentes dessas resinas têm alta viscosidade e propriedades mecânicas satisfatórias, suficientes para que os fabricantes possam preconizar sua utilização sem a associação com resinas compostas convencionais (Ibara et al., 2015).

Outro avanço tecnológico ocorreu em relação aos equipamentos fotoativadores. Novos equipamentos fornecem luz com maior amplitude de comprimento de onda, como no caso dos LEDs de terceira geração, e altas intensidades de luz, preconizando tempos de fotoativação de até 1 segundo (Rueggeberg, 2011). Esses equipamentos, associados às resinas bulk fill, poderiam levar a procedimentos restauradores rápidos, mais confortáveis para os pacientes e mais simples para os dentistas, em sua prática clínica.

Contudo, as resinas compostas, inclusive as do tipo bulk fill, possuem uma deficiência em comum: a contração de polimerização. Trata-se de um processo inerente à reação de polimerização, onde monômeros, quando convertidos em polímeros, ocupam um espaço menor do que o espaço que ocupavam inicialmente (Reis; Loguercio, 2007).

Objetivo da Pesquisa:

- Avaliar a influência de características de equipamentos fotoativadores na polimerização de restaurações em resinas compostas bulk fill;
- verificar a influência do tempo de fotoativação na polimerização de restaurações em resinas compostas bulk fill;
- avaliar a transmissão de luz através de restaurações confeccionadas com resinas compostas bulk fill.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Não existem, já que somente serão utilizados dentes provenientes da clínica da Faculdade de Odontologia da Dalhousie University, doados para fim de pesquisa. Os únicos riscos para o paciente serão os inerentes ao procedimento de exodontia, sendo que esses dentes já deveriam ser extraídos por algum motivo independente do estudo.

Benefícios:

Os benefícios relacionados a esse estudo serão: a avaliação da influência de características dos equipamentos fotoativadores e tempos de

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 05.508-900
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)3091-7960 **Fax:** (11)3091-7814 **E-mail:** cepfo@usp.br

USP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 2.006.187

fotoativação na polimerização de resinas compostas bulk fill. Já existem alguns estudos envolvendo esse tipo de material, porém existem resultados controversos, além de que, nesse estudo, serão avaliadas restaurações confeccionadas com associações desse material com equipamentos fotoativadores diversos. Essas associações podem gerar restaurações em resina composta confeccionadas em curto período de tempo, o que pode ser de grande valia, tanto para os pacientes, como para o profissionais, em sua clínica diária, ou contra-indicar certos protocolos, se as resinas não forem polimerizadas adequadamente.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa relevante na área de estudos dos materiais odontológicos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Projeto - OK

Folha de Rosto - OK

Aprovação CEP Dalhousie - OK

Cronograma - OK

Recomendações:

Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados ao CEP-FOUSP relatórios parciais anuais referentes ao andamento da pesquisa e relatório final, utilizando-se da opção "Enviar Notificação" (descrita no Manual "Submeter Notificação", disponível na Central de Suporte - canto superior direito do site www.saude.gov.br/plataformabrasil).

Qualquer alteração no projeto original deve ser apresentada "emenda" a este CEP, de forma objetiva e com justificativas para nova apreciação.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto aprovado, não há pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_880584 E1.pdf	24/03/2017 01:32:57		Aceito

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-900

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-7960

Fax: (11)3091-7814

E-mail: cepfo@usp.br

USP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 2.006.187

Folha de Rosto	Folha_de_rosto_CEP.pdf	24/03/2017 01:21:01	Carlos Alberto Kenji Shimokawa	Aceito
Outros	CEP_Dalhousie.png	20/03/2017 14:37:55	Carlos Alberto Kenji Shimokawa	Aceito
Cronograma	Cronograma_CEP.docx	20/03/2017 14:34:43	Carlos Alberto Kenji Shimokawa	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Emenda_CEP.docx	20/03/2017 14:29:47	Carlos Alberto Kenji Shimokawa	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO PAULO, 07 de Abril de 2017

Assinado por:

Maria Gabriela Haye Blazevic
(Coordenador)

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 05.508-900

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-7960

Fax: (11)3091-7814

E-mail: cepfo@usp.br

ANEXO C – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da Dalhousie University

Health Sciences Research Ethics Board Annual Renewal - Letter of Approval

September 15, 2016

Dr Richard Price
Dentistry/Dental Clinical Sciences

Dear Richard,

REB #: 2015-3632

Project Title: Super-Fast Restorations? An 'In Vitro' Study of Fast Curing Bulk Fill Composite Resins and its Consequences on the Microhardness and Marginal Adaptation of These Restorations

Expiry Date: October 16, 2017

The Health Sciences Research Ethics Board has reviewed your annual report and has approved continuing approval of this project up to the expiry date (above).

REB approval is only effective for up to 12 months (as per TCPS article 6.14) after which the research requires additional review and approval for a subsequent period of up to 12 months. Prior to the expiry of this approval, you are responsible for submitting an annual report to further renew REB approval. When your project is complete and no longer requires REB approval, please complete a Final Report to close your file in good standing. Forms are available on the Research Ethics website.

I am also including a reminder (below) of your other on-going research ethics responsibilities with respect to this research.

Sincerely,

A handwritten signature in blue ink that reads 'Tannis Jurgens'.

Dr. Tannis Jurgens, Chair