

ANADIR FERREIRA INSAURRALDE

**AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL DE RESINAS
COMPOSTAS À BASE DE METACRILATO E SILORANO
FOTOPOLIMERIZADAS COM FONTES DE LUZ HALÓGENA E LED,
EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.**

CAMPO GRANDE
2010



ANADIR FERREIRA INSAURRALDE

**AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL DE RESINAS
COMPOSTAS À BASE DE METACRILATO E SILORANO
FOTOPOLIMERIZADAS COM FONTES DE LUZ HALÓGENA E LED,
EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-oeste da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Mathias Zanello
Guerisoli

CAMPO GRANDE
2010



FOLHA DE APROVAÇÃO

ANADIR FERREIRA INSAURRALDE

**AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL DE RESINAS COMPOSTAS À
BASE DE METACRILATO E SILORANO FOTOPOLIMERIZADAS COM FONTES
DE LUZ HALÓGENA E LED, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre.

Resultado _____

Campo Grande (MS), _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. _____
Instituição: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____

AGRADECIMENTOS

- A **Deus**, por ter permeado minha vida com oportunidades de escolha, sempre iluminando e guiando meus passos, renovando minha esperança e fé.
- Aos **meus pais** pelo amor incondicional, por fazerem parte da minha vida, dos meus medos, das minhas conquistas. Pai, você é meu exemplo de mestre, de profissionalismo e competência. Mãe, os valores de amor, fé e caridade que você me ensinou norteiam meu caminho. Obrigada por tudo!
- À **minha família e amigos**, por toda torcida e apoio, não apenas para a realização deste projeto, mas de tantos outros sonhos.
- Ao meu orientador **Prof. Dr. Danilo Mathias Zanello Guerisoli**, por me acolher em um momento tão difícil, pelo incentivo, dedicação e colaboração essenciais na realização deste trabalho.
- Ao **Prof. Dr. Fábio Simões de Vicente**, que primeiro me recebeu nessa instituição, permitindo que eu fizesse parte do Programa de Pós-Graduação.
- À **Prof. Dr. Margareth Coutinho** por ter sido a primeira professora a me ensinar o caminho da pesquisa. Sua amizade, seu carinho e suas cobranças me ajudaram a chegar até aqui.
- Ao meu irmão de coração **Rodrigo Dalla Lana Mattiello**. Só tenho a agradecer a Deus por Ele ter colocado você em minha vida.
- Às amigas **Danielle Fialho Maachar e Andréia de Oliveira**, que tornaram mais fáceis os meus dias longe de casa.
- À amiga **Mônica Jannuzzi** pelos conselhos de psicóloga, mãe e amiga e por ter sido um porto seguro em diversos momentos.

- À professora e amiga **Sandramaria Gonçalves Gomes**. Sua garra, determinação e o carinho que demonstra por seus alunos são exemplos que quero seguir.

- Aos **Prof. Dr. Marcelo Agnoletti e Heraldo Riehl** (*in memorian*), queridos professores da Especialização, pelo incentivo e por me fazerem ter uma nova visão da minha profissão.

- Aos **Coronéis Jannuzzi e Arcanjo**, que permitiram que eu conciliasse meu trabalho com o desenvolvimento desta pesquisa. Minha admiração por vocês tanto incentivarem o estudo e a formação pessoal.

- Aos **Prof. MSc. Walter Leonardo Siqueira Zaia e Elizete da Rocha Vieira de Barros** pelas contribuições para o trabalho oferecidas na pré-defesa.

- Ao **Departamento de Física**, em especial aos Prof. Dr. Angela Antonia Sanches Tardivo Delben e Jose Renato Jurkevicz Delben, pela utilização do microdurômetro.

- À **Faculdade de Odontologia Prof. Albino Coimbra Filho – UFMS**, principalmente ao Prof. Dr. José Luiz Guimarães de Figueiredo, pela utilização das instalações e pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

- Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)**, pelos recursos cedidos através da bolsa de estudos.

- Ao **Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento da Região Centro-Oeste**, através de seu coordenador, professores e funcionários, que possibilitaram o alcance desta meta.

- A **todos** que, de forma direta ou indireta, ajudaram na realização deste trabalho.

“De tudo, ficaram três coisas:
A certeza de que estamos sempre começando
A certeza de que precisamos continuar
A certeza de que seremos interrompidos antes de terminar
Portanto devemos:
Fazer da interrupção, um caminho novo
Da queda, um passo de dança
Do medo, uma escada
Do sonho, uma ponte
Da procura, um encontro”
Certeza (Fernando Pessoa)

RESUMO

Insaurrealde AF. Avaliação da microdureza superficial de resinas compostas à base de metacrilato e silorano fotopolimerizadas com fontes de luz halógena e LED, em diferentes profundidades. Campo Grande; 2010. [Dissertação – Faculdade de Medicina “Doutor Hélio Mandetta” da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

As melhorias nas propriedades mecânicas das resinas compostas, bem como nos aparelhos fotopolimerizadores, permitiram a utilização desses materiais com maior confiabilidade. Entretanto, sabe-se que o sucesso das restaurações estéticas depende de vários fatores como o grau e a profundidade de polimerização, o tipo de aparelho utilizado, a intensidade de luz e também as propriedades do material a ser fotoativado. Dessa forma, esse estudo teve como objetivo avaliar a microdureza de duas resinas compostas, uma à base de metacrilato (FILTEK Z250) e outra de silorano (FILTEK P90), utilizando uma fonte de luz halógena (Optilux 401) e um LED (Radii), em diferentes profundidades de polimerização (0, 2 e 4 mm). Os corpos-de-prova (n=120) foram obtidos utilizando-se matrizes de silicóna contendo uma cavidade interna de 2 ou 4 mm de profundidade e 5 mm de diâmetro, que foram preenchidas com cada uma das resinas e fotoativadas com o aparelho de luz halógena ou com LED por 40s. As amostras de resina composta foram incluídas em tubos de PVC com resina acrílica quimicamente ativada e, após o acabamento e polimento, foram armazenadas durante 24 horas, em temperatura ambiente, em tubos de filme fotográfico pretos. O teste de microdureza foi realizado através de um microdurômetro com penetrador tipo Vickers, com carga estática de 200 gf por 10s. A análise estatística mostrou uma microdureza significativamente maior obtida pela FILTEK Z250 em comparação à FILTEK P90 ($P < 0,001$). As amostras fotopolimerizadas com LED apresentaram-se com microdureza superior às submetidas à luz halógena ($P < 0,001$), exceção feita à resina FILTEK P90, que apresentou valores semelhantes de microdureza ($P > 0,05$), nas profundidades de 2 e 4 mm. A profundidade de fotopolimerização também foi determinante na microdureza ($P < 0,001$), já que quanto maior a profundidade avaliada, menores valores foram obtidos pelas resinas compostas.

Palavras-chave: dureza, resinas compostas, polimerização.

ABSTRACT

Insaurrealde AF. Evaluation of the surface microhardness at different depths of methacrylate and silorane based composites cured with halogen lamps or LED. Campo Grande; 2010. [Dissertação – Faculdade de Medicina “Doutor Hélio Mandetta” da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

The enhanced mechanical properties of composites, as well as superior curing units, allowed the use of such restorative materials with more predictable results. However, it is known that the success of esthetic restorations depends on many factors such the amount and depth of polymerization, the type of curing unit used, the light intensity and the properties of the composite. Thus, this study aimed to evaluate the surface microhardness of methacrylate and silorane based composites (Filtek Z250 and Filtek P90, respectively) cured with halogen lamps or LED (Optilux 401 and Radium) at the depths of 0, 2 and 4 mm. Samples (n=120) were obtained using a silicone matrix containing pits of 2 or 4 millimeters and 5 millimeters wide, which were filled with the tested composites and cured with halogen lamp or LED units for 40 seconds. The samples were included in acrylic resin and polished, being stored for 24 hours at room temperature in black, opaque containers before the microhardness test. A Vickers microhardness tester was used with a load of 200 gf for 10 seconds. Statistical analysis showed higher microhardness values obtained by Filtek Z250 when compared to Filtek P90 ($P < 0,001$). When curing units were compared, LED-based units showed higher hardness than halogen lamp based-units, except for the FILTEK P90 resin, which showed similar values of microhardness ($P > 0.05$), at depths of 2 and 4 mm. The depth of polymerization was also determinant in microhardness values ($P < 0,001$), showing an inversely proportion pattern.

Key-words: hardness, composite resins, curing.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Média e desvio-padrão (entre parênteses) dos resultados obtidos para microdureza dos corpos-de-prova em função do tipo de resina, profundidade de polimerização e fonte de luz, Campo Grande 2010..... 48
- Tabela 2 – Valores de microdureza conforme a profundidade de polimerização, em percentual da microdureza inicial, Campo Grande 2010..... 49



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quadro comparativo mostrando a composição química das resinas compostas utilizadas no estudo.....	43
Figura 2 – Quadro relativo aos grupos experimentais investigados no estudo.....	43
Figura 3 – Esquema representativo do processo de preparação dos corpos-de-prova.....	45
Figura 4 – Corpo-de-prova preparado para o teste de microdureza.....	46
Figura 5 – Indentação em um corpo-de-prova do grupo 1 (Filtek P90).....	47
Figura 6 – Indentação em um corpo-de-prova do grupo 2 (Filtek PZ250).....	47
Figura 7 – Gráfico ilustrando média e desvio-padrão (barra de erros) dos resultados obtidos para microdureza dos corpos-de-prova em função do tipo de resina, profundidade de polimerização e fonte de luz.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA	<i>American Dental Association</i>
BisEMA	Bisfenol A glicidil dimetacrilato etoxilado
BisGMA	Bisfenol glicidil dimetacrilato
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EGDMA	Etilenoglicol dimetacrilato
EUA	Estados Unidos da América
FTIR	<i>Fourier transform infrared spectrometer</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LASER	<i>Light amplification by stimulated emission of radiation</i>
LED	<i>Light emitting diode</i>
PVC	Policloreto de vinila
TEGDMA	Trietilenoglicol dimetacrilato
UDMA	Uretano dimetacrilato
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

nm	nanômetro
mW/cm ²	miliwatt por centímetro quadrado
mm	milímetro
s	segundo
cm	centímetro
%	por cento
MPa	Mega Pascal
°C	graus Celsius
J/cm ²	Joules por centímetro quadrado
Kgf	quilograma-força
µm	micrômetro
g	grama
gf	grama-força
VHN	Vickers Hardness Number
N	Newton

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
3. OBJETIVOS	42
4. MATERIAL E MÉTODO	43
4.1 Materiais	43
4.2 Método	44
4.2.1 <u>Aferição da intensidade de luz dos aparelhos fotopolimerizadores</u>	44
4.2.2 <u>Confecção dos corpos-de-prova</u>	44
4.2.3 <u>Análise da microdureza</u>	46
5 RESULTADOS	48
6 DISCUSSÃO	50
7 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução dos materiais dentários e das técnicas restauradoras conservativas tem feito com que as resinas compostas estejam cada vez mais presentes na rotina da clínica odontológica. Hoje elas são utilizadas para substituir a estrutura dentária perdida por cáries, traumas ou problemas congênitos, possibilitando a manutenção da cor e contorno dos dentes. Paralelamente ao aumento de seu uso, ampliou-se também o número de investigações científicas com estes materiais.

As resinas compostas são materiais restauradores baseados em uma matriz orgânica, composta de monômeros que formam cadeias tridimensionais quando polimerizados, e partículas de carga inorgânica, que variam de tamanho e forma, aderindo-se à cadeia polimérica através de sua superfície que é revestida por um agente de união, o silano (SCOUGALL-VILCHIS *et al.*, 2009).

Fundamental à composição da matriz orgânica, os monômeros têm a função de formar um material que possa ser acomodado no interior da cavidade, restaurando, após sua polimerização, a estrutura dental perdida. Até o início dos anos 50, as restaurações estéticas eram realizadas utilizando-se resinas acrílicas ou resinas epóxicas. As restaurações produzidas por estes sistemas apresentavam grandes problemas, como alta contração de polimerização, alto coeficiente de expansão térmico, manchamentos e alta incidência de cárie secundária. No entanto, em 1956, Bowen uniu as características desejáveis das resinas existentes, desenvolvendo um novo monômero chamado bisfenol A glicidil metacrilato (Bis-GMA). Esse monômero se assemelha à resina epóxica, exceto pelo fato que os dois grupamentos epóxi foram substituídos por dois grupamentos de metacrilato. Assim, a reação de polimerização ocorre através da quebra das ligações duplas dos carbonos presentes nos grupamentos de metacrilato (PEUTZFELDT, 1997). Foi a partir desse importante advento, que a presença de monômeros metacrilatos unidos a partículas de carga inorgânica passou a vigorar como base das resinas compostas. Dentre os monômeros mais utilizados nos dias de hoje, além do Bis-GMA, destacam-se o UDMA (uretano dimetacrilato) e o Bis-EMA (bisfenol A glicidil dimetacrilato etoxilado), denominados monômeros de alto peso molecular; e os monômeros diluentes, o TEGDMA (trietilenoglicol dimetacrilato) e o EGDMA (etilenoglicol dimetacrilato), de baixo peso molecular (PEUTZFELDT, 1997; KRÄMER *et al.*, 2008; LIEN; VANDEWALLE, 2010).

Recentemente, um novo compósito resinoso à base do monômero silorano foi introduzido na Odontologia. O silorano é um monômero híbrido derivado de duas estruturas diferentes: os siloxanos e os oxiranos, resultando em uma estrutura com anéis. A cadeia polimérica dos siloranos é formada a partir da abertura do anel catiônico e ocorre após a ação de três componentes iniciadores: a canforoquinona, que é usada como fotoiniciador e capta o espectro de luz do aparelho fotoativador, um doador de elétrons, que age por processo de óxido-redução e decompõe o sal de iodônio, o terceiro elemento do sistema, em um cátion ácido que inicia o processo de polimerização com a abertura dos anéis do monômero (WEINMANN *et al.*, 2005). Essa abertura provoca expansão da molécula, o que compensa, em parte, a contração de polimerização. Assim, as tensões geradas pelo processo de polimerização são menores quando comparadas aos compósitos à base de metacrilatos (ILIE *et al.*, 2007; ILIE; HICKEL, 2009).

Na maioria dos compósitos à base de metacrilato, a canforoquinona também é usada como agente iniciador, mas em conjunto com uma amina terciária que age como co-iniciador (STANSBURY, 2000; WIGGINS *et al.*, 2004). A canforoquinona absorve energia dentro da faixa azul do espectro de luz visível, com pico de absorbância em 467nm. A formação de radicais livres desencadeada pela excitação da canforoquinona, permite a conversão dos monômeros resinosos livres em cadeias poliméricas complexas (NOMOTO, 1997). Quanto maior o grau de polimerização, melhores serão as propriedades físico-mecânicas do material formado (PRICE *et al.*, 2003; HUBBEZOGLU *et al.*, 2007). Uma polimerização incompleta pode ser ocasionada por baixa intensidade de luz, tempo de exposição diminuído e incorreta execução da técnica de polimerização; mais ainda, pode ser influenciada pela composição do material, tipo de aparelho utilizado e por seu estado de conservação, o que acarreta um grande efeito sobre as propriedades finais das restaurações (RODE *et al.*, 2005; ALPÖZ *et al.*, 2008).

Os aparelhos fotopolimerizadores mais comuns utilizam uma lâmpada halógena constituída por um filamento de tungstênio, o qual é envolto por um bulbo de quartzo e por um gás inerte (GANIME *et al.*, 2008). Essa lâmpada emite luz de amplo espectro, por meio da incandescência deste filamento, alcançando a irradiação infravermelha (RUEGGEBERG, 1999). Por isso, esses aparelhos utilizam filtros para que apenas a luz com comprimento de onda de 400 a 500nm seja transmitida para a ativação da canforoquinona (KURACHI *et al.*, 2001; DUNN; BUSH, 2002).

Os aparelhos diodos emissores de luz, conhecidos como LEDs (light emitting diode), ao contrário das lâmpadas halógenas, convertem a energia elétrica em luz por semicondutores sólidos, produzindo aquecimento mínimo. Esses aparelhos apresentam muitas vantagens como: a produção de pouco calor, reduzindo a possibilidade de degradação dos componentes internos ao longo do tempo, e a inexistência de filtros devido ao estreito espectro de comprimento de onda emitido, que coincide com a região de absorção da canforoquinona (KURACHI *et al.*, 2001). Os aparelhos à base de LEDs da primeira geração apresentavam a desvantagem de emitirem intensidades de luz muito baixas, variando entre 80 e 300mW/cm² resultando em menor eficiência de fotopolimerização (GODOY *et al.*, 2007). Mas a tecnologia LED vem sendo constantemente aperfeiçoada e modificações foram desenvolvidas com a finalidade de aumentar a densidade de potência (aparelhos de segunda geração) e também de ampliar o espectro da luz emitida (aparelhos de terceira geração) (D'ALPINO; SVIZERO, 2006; GANIME *et al.*, 2008).

Quando uma resina composta recebe uma quantidade inadequada de energia total, a dureza é adversamente afetada, independente da intensidade emitida pela fonte de luz (PRICE *et al.*, 2003). Nas áreas mais profundas da restauração de resina composta, a atenuação da intensidade de luz pode levar a uma diminuição do grau de polimerização do material, fazendo com que a resina apresente propriedades inferiores nesta região em relação ao topo da restauração. Dessa forma, a base da restauração, insuficientemente polimerizada, pode levar à deterioração da integridade marginal entre dente e restauração ao longo do tempo (BRISO *et al.*, 2006).

Para comparar o comportamento entre as fontes de luz não parece ser suficiente medir as irradiações emitidas pelas mesmas, uma vez que, estas fontes emitem energia luminosa em diferentes faixas do espectro de luz visível. Desta forma, a avaliação das propriedades mecânicas das amostras é o método mais indicado para determinar o potencial de fotoativação destas fontes (STAHL *et al.*, 2000).

A avaliação da efetividade de polimerização pode ser feita tanto por meios diretos, quanto indiretos (CEBALLOS *et al.*, 2009). Um dos métodos indiretos é a análise da dureza superficial que é comumente relacionada com força mecânica, rigidez, e resistência do compósito (LIEN; VANDEWALLE, 2010; MARGHALANI, 2010). Sabe-se que a vantagem do teste de microdureza Vickers é a correlação entre a dureza e o grau de conversão do

monômero, que constitui um importante aspecto na determinação do sucesso clínico das restaurações (HUBBEZOGLU *et al.*, 2007; GANIME *et al.*, 2008).

Devido à necessidade de maior informação a respeito do comportamento de resinas à base do novo monômero silorano comparadas a resinas de metacrilato, assim como as consequências do tipo de fonte de luz e da profundidade de polimerização nos valores de dureza, o objetivo deste estudo foi avaliar a dureza superficial Vickers de resinas compostas com diferentes matrizes orgânicas fotoativadas com luz halógena e LED, em diferentes profundidades.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Lopez (1993), frente à dúvida da padronização dos testes de microdureza em polímeros, devido ao seu comportamento especial, realizou um levantamento bibliográfico para verificação dos estudos presentes até aquele momento. Segundo o autor, os testes de microdureza mais aceitos para materiais plásticos (polímeros) são os testes Vickers quando se mede a largura da área projetada e o teste Wallace quando a mensuração é relativa à profundidade de indentação. A indentação estática é largamente utilizada para determinar a microdureza em polímeros porque forma uma impressão permanente na superfície do material. Os polímeros apresentam um comportamento visco-elástico devido ao efeito *creep* que ocorre nesses materiais. Um aumento no tamanho da indentação é observado quando utilizado um tempo de aplicação de força maior, como consequência um valor de microdureza menor. Outro parâmetro que pode alterar o valor de microdureza é a força (carga) aplicada, assim como a forma do indentador utilizado. Para indentadores cônicos e piramidais os valores de microdureza diminuem com o aumento da carga, enquanto para os esféricos é o oposto. As mensurações devem ser realizadas a uma distância de 2 a 5 vezes a diagonal da indentação ou a distância de um raio de 3mm da marca, para que não ocorra sobreposição das marcas ou influência da zona de deformação plástica que ocorre ao redor do indentador na obtenção dos valores de dureza.

Kawaguchi *et al.* (1994) avaliaram a relação entre o coeficiente de transmissão e a profundidade de polimerização em oito resinas compostas fotopolimerizáveis. As resinas foram divididas em três grupos, de acordo com o tipo de partícula de carga presente em sua composição. Para todas as resinas, o coeficiente de transmissão e a profundidade de polimerização variaram de acordo com a cor do material. Os resultados indicaram que há uma correlação significativa entre o coeficiente de transmissão e a profundidade de polimerização, exceto na resina híbrida. A resina microparticulada mostrou menor coeficiente de transmissão, provavelmente pela maior dispersão de luz provocada por essas partículas.

Nomoto, em 1997, avaliou a influência do comprimento de onda na polimerização das resinas compostas fotopolimerizáveis e definiu o mais adequado para a polimerização com uma resina experimental e um aparelho de luz visível. Mediu-se a densidade de potência por meio de um radiômetro, utilizando-se, para a seleção do comprimento de onda, um filtro de banda estreita e um filtro de densidade neutra. O pico máximo de absorção para a

canforoquinona foi de 467nm, sendo que o grau máximo de conversão ocorreu a 470nm. Na faixa de extensão de 450 a 490nm o grau de conversão foi fracamente sensível ao comprimento de onda. Os autores afirmaram que a densidade de potência dentro desta extensão é mais importante do que o pico de comprimento de onda. Fora desta extensão, entretanto, a dependência do comprimento de onda é muito mais forte e a taxa de conversão diminui rapidamente. Conseqüentemente, a densidade e comprimento de onda ótimos para polimerização por um aparelho fotopolimerizador ideal deveria se localizar dentro da extensão 450 a 490nm, para os compósitos que possuem a canforoquinona como fotoiniciador. Com 5s de exposição, tanto o grau de conversão quanto a conversão de polimerização, foram afetados pelo comprimento de onda porque a absorbância da canforoquinona afeta fortemente a polimerização, especialmente no estágio inicial. O autor enfatizou que a densidade de potência no comprimento de onda de 470nm pode ser um guia para eficiência em polimerização. Somente aqueles comprimentos de onda fortemente absorvíveis pelo fotoiniciador são úteis na fotopolimerização.

Através de revisão de literatura, Peutzfeldt, em 1997, descreveu a história dos monômeros usados na Odontologia. Aspectos a respeito das propriedades físicas, o grau de conversão, a contração de polimerização e efeitos anti-cariogênicos dos monômeros foram discutidos. O sistema monomérico da maioria dos compósitos resinosos está baseado no Bis-GMA. Este monômero bifuncional desenvolvido em 1956 por Bowen mostrou-se superior ao metil-metacrilato, e devido ao alto peso molecular e grande estrutura química, apresenta menor volatilização, menor contração de polimerização, endurecimento mais rápido e produção de resinas mais resistentes e rígidas. Monômeros diluentes como o TEGDMA e o EGDMA também são adicionados a matriz monomérica, com a finalidade de diminuir a viscosidade do Bis-GMA. Tem sido mostrado que as propriedades mecânicas dos compósitos podem ser influenciadas pelo grau de conversão e pela natureza das subunidades monoméricas dos polímeros. As maiores deficiências dos compósitos resinosos são a contração de polimerização e a baixa resistência ao desgaste sob esforços mastigatórios. O ponto principal desse problema tem sido estudado com o desenvolvimento de compósitos resinosos com menor ou nenhuma contração de polimerização envolvendo monômeros que reagem a partir da abertura de anel ou que são ciclopolicimerizáveis.

Segundo Anusavice em 1998, uma importante característica para o material odontológico é a resistência, propriedade mecânica que assegura que a restauração desenvolverá as funções para quais foi executada, de maneira adequada, segura e duradoura.

Afirmou que, para a indicação da resina composta, é importante a análise de todas as suas propriedades, tais como resistência à abrasão, a resistência flexural, o módulo de elasticidade, a resistência à fratura e dureza, entre outras. Apontou que os testes de dureza encontram-se incluídos em várias especificações da *American Dental Association* (ADA) para materiais odontológicos e que os mais utilizados são conhecidos pelos nomes de Barcol, Brinell, Knoop, Rockwell, Shore e Vickers. Esses testes encontram-se embasados na capacidade da superfície do material resistir à penetração de uma ponta, sob uma carga e tempo determinados.

Rueggeberg publicou em 1999 uma revisão de literatura sobre o processo de polimerização, variedades de aparelhos fotopolimerizadores existentes no mercado e as diferenças entre as filosofias pertinentes à polimerização. O autor definiu um conceito sobre energia total de polimerização. Para calcular esta energia, é necessário saber a intensidade da unidade fotopolimerizadora (em mW/cm^2) e a duração do tempo de exposição (em segundos). Neste trabalho, citou que a tendência é que o rótulo da resina composta traga informações sobre a energia necessária para a polimerização. Da mesma forma, o aparelho fotopolimerizador deve indicar a densidade de potência e comprimento de onda emitido. O espectro necessário para uma resina deve combinar com o espectro de luz emitido pelo aparelho, pois do contrário, não haverá fotopolimerização.

Correr-Sobrinho *et al.* (2000) verificaram a influência da distância da ponta fotoativadora sobre a dureza Knoop em diferentes profundidades, de uma resina de micropartículas e de uma híbrida. As resinas foram inseridas em uma matriz metálica de 2,5 mm de altura, e polimerizadas com o aparelho XL 3000, com intensidade de $750 \text{ mW}/\text{cm}^2$, por 40s com a ponta fotoativadora colocada nas distâncias de 0, 6 e 12 mm em relação ao compósito. Para a resina híbrida, houve uma redução nos valores de dureza com o aumento da distância da ponta em relação ao compósito. Para a microparticulada, o aumento da distância não mostrou diferença estatisticamente significativa nos valores de dureza Knoop; no entanto, a 6 e 12 mm as camadas mais profundas mostraram uma redução na dureza em relação à superfície. A resina composta híbrida foi superior nas três distâncias estudadas em todas as profundidades. Os autores sugeriram que esta diferença entre as resinas se deve principalmente ao tamanho e tipo da partícula de carga, já que compósitos de partículas maiores têm uma melhor polimerização, pois dispersam menos luz. Sugeriram também que a profundidade de polimerização é limitada e depende de vários fatores, principalmente da localização da fonte de luz e do tipo de partículas de carga do compósito.

O desempenho clínico das resinas compostas fotopolimerizáveis é fortemente influenciado pela qualidade da fonte de luz utilizada. Alguns estudos têm mostrado que os LEDs são capazes de polimerizar resinas compostas, mas outros estudos devem ser realizados para testar a efetividade desses aparelhos e as propriedades mecânicas dos materiais polimerizados com esse tipo de luz. Com esse intuito, Stahl *et al.* (2000) analisaram as propriedades de três compósitos com diferentes cores (A2, A3 e A4), os quais foram polimerizados com um aparelho de luz halógena e um LED. Em relação à força flexural medida nos materiais, a polimerização realizada com o aparelho de luz halógena gerou resultados estatisticamente maiores do que quando utilizado o LED. Em relação às cores utilizadas, não houve diferença quando se mediu a força flexural, ou seja, não houve interferência independente da fonte de polimerização.

Em 2000, Stansbury relatou o desenvolvimento e a contínua evolução do método de fotoativação usado para realizar a polimerização das resinas e compósitos odontológicos. Uma revisão da literatura foi realizada e aspectos a respeito do processo de polimerização ativada por luz visível nas aplicações odontológicas foram descritos. O mecanismo básico no qual os fotoiniciadores convertem os monômeros em polímeros e os vários fatores que influenciam o processo de fotopolimerização foram discutidos. Estudos que avaliam o processo de fotoiniciação geralmente envolvem a avaliação da cinética de polimerização durante o processo de fotoativação ou a mensuração do grau de conversão obtido após a polimerização. Além disso, o sistema fotoiniciador convencional, canforoquinona-amina, usado na maioria dos materiais restauradores odontológicos tem sido estudado adicionado a sistemas iniciadores alternativos para aumentar a eficiência da fotoativação. Novos iniciadores podem promover elevados índices de grau de conversão ou taxas de polimerização mais rápidas sob mínima exposição de luz ou baixa concentração de iniciadores. O uso da fotoativação oferece ao cirurgião-dentista bom controle sobre o processo de polimerização. Os benefícios de uma polimerização mais eficiente podem ser expressos com melhorias no desempenho e durabilidade da restauração, maior biocompatibilidade e estabilidade de cor.

Kurachi *et al.* (2001) tiveram como objetivo avaliar a microdureza de uma resina composta polimerizada por cinco aparelhos à base de LED, e uma comparação com uma unidade de polimerização convencional. Foram preparadas cinco pontas cilíndricas com 0,8 cm de diâmetro, similares ao diâmetro tradicional das lâmpadas halógenas, e colocadas no interior de cada uma delas arranjos com dois, três, quatro, cinco ou seis LEDs azuis, emitindo pico de luz de 470 nm. A resina composta utilizada foi a Z100, na cor A3, polimerizada por

20, 40, 60, 120 e 180s por cada dispositivo à base de LED, e por 40s pela lâmpada halógena. Imediatamente após colocação da resina composta na matriz, uma das pontas preparadas foi colocada em contato com uma placa de vidro e iniciou-se o processo de polimerização. Após um tempo pré-estabelecido desligou-se a corrente do aparelho e o corpo-de-prova de resina composta polimerizada foi removido. Foram obtidas diferentes espessuras nestes corpos-de-prova. As indentações do teste de microdureza Vickers foram realizadas em três posições aleatórias na superfície não fotoativada. Entre os corpos-de-prova polimerizados com LED, os maiores valores de microdureza foram obtidos com o arranjo de seis LEDs, em todos os tempos de polimerização. A partir dos resultados onde o dispositivo à base de seis LEDs atingiu 60% da microdureza obtida pela lâmpada convencional, os autores concluíram que o LED apresenta boas perspectivas para uso clínico como fotoativador de resinas compostas.

Leonard *et al.*, em 2001, objetivaram determinar o valor mínimo de irradiação requerido para polimerizar resinas compostas híbridas e de micropartículas quando polimerizadas por tempo de ativação de 40s e 60s com uma fonte de luz dotada de lâmpada halógena. Para este estudo, os autores procuraram avaliar a microdureza Knoop dos compósitos testados após serem confeccionados espécimes de 2mm de espessura das resinas Z100 e Silux Plus (3M/ESPE) e fotoativados com o Optilux 401 (Demetron) pelos tempos determinados. A microdureza foi medida tanto na superfície de topo como de base dos espécimes e a porcentagem entre os valores foi observada, considerando que um valor de dureza na base que correspondesse a 80% do valor no topo indicaria uma polimerização satisfatória. Os resultados deste trabalho mostraram que o valor mínimo de densidade de potência de 300mW/cm recomendado pelos fabricantes dos materiais pode ser adequado para as resinas híbridas, no entanto, mostrou-se insuficiente para as resinas de micropartículas, que necessitaram de densidades superiores a 542,9mW/cm pelo tempo de exposição de 40s para alcançar o mesmo grau de polimerização que a híbrida.

Braga e Ferracane (2002) verificaram a influência do grau de conversão e da velocidade da reação no desenvolvimento da tensão de contração em compósitos resinosos. Quatro materiais foram preparados variando a quantidade de inibidor nas seguintes concentrações: 0,05; 0,2; 0,5 e 1,0%, em uma massa formulada na proporção de 1:1 dos monômeros Bis-GMA e TEGDMA. Nanopartículas foram adicionadas à matriz orgânica representando 40% da massa total do compósito. O grau de conversão dos compósitos foi determinado com espectroscopia por infravermelho Fourier. As medidas da contração volumétrica dos compósitos foram realizadas com dilatômetro de mercúrio. Longos tempos

de fotoativação resultaram em maiores resultados de conversão, contração e tensão de contração de polimerização. O aumento em 38% do grau de conversão entre 15 e 120s de fotoativação, levou ao aumento na tensão de contração de 3,1 para 9,5 MPa. Nenhuma diferença na tensão de contração foi encontrada entre os materiais com 0,05, 0,2 e 0,5% de inibidor. Apesar de ser observada tendência de diminuição do grau de conversão quando a concentração de inibidor foi aumentada, nenhuma diferença significativa foi observada. Também não foi observada nenhuma diferença estatisticamente significativa na contração volumétrica dos compósitos contendo 0,2; 0,5 e 1,0% de inibidor. Assim, os resultados do estudo confirmaram a hipótese que a tensão de contração está relacionada com o grau de conversão.

Dunn e Bush (2002), comparando polimerização por luz halógena com eficácia de polimerização dos aparelhos de LED, confeccionaram vinte corpos-de-prova de resina composta híbrida Filtek Z250 (3M-ESPE) e vinte de resina composta de micropartículas Renamel (Cosmedent), em matrizes de acetato de 8 mm por 2 mm. Posteriormente, fotoativaram com quatro aparelhos, sendo dois à base de luz halógena e dois à base de LED. A intensidade de luz foi conferida com o radiômetro. Os corpos-de-prova foram armazenados secos, em recipiente à prova de luz, por 24h e submetidos ao teste de microdureza Knoop. Foram efetuadas três medidas de cada amostra nas superfícies de topo e base. Os resultados mostraram valores mais altos de microdureza, em ambas as superfícies, nas amostras polimerizadas com os aparelhos de luz halógena. Os autores sugeriram que um aparelho fotopolimerizador com sete LEDs, como os avaliados neste estudo, podem não polimerizar adequadamente os incrementos de 2 mm de resina composta mas que, se aumentasse o número de LEDs, sua potência provavelmente aumentaria. Concluíram que a luz produzida pelos LEDs disponíveis no mercado para polimerização de resina composta ainda necessita de melhorias e de estudos adicionais para se equiparar à eficácia da luz halógena, apesar das inúmeras vantagens apresentadas.

Fan *et al.* (2002) alertaram para fatores que podem exercer influência sobre a fotoativação da resina composta, como por exemplo: a composição do material, o tipo e concentração do fotoiniciador, o comprimento de onda da luz, a intensidade da luz e o tempo de irradiação. Como método para avaliar a polimerização da resina, os autores sugeriram a avaliação da profundidade de polimerização, que pode ser medida por testes de dureza, de interação com corantes, mudanças de translucência, grau de conversão, microimagem de ressonância magnética, testes de penetração e testes de desgaste. Os autores compararam

diversas cores de 5 marcas de resina e testaram a profundidade de polimerização pelo método sugerido pela *International Organization for Standardization* (ISO) onde a mínima intensidade de luz necessária é de 300 mW/cm^2 e comprimento de onda de 400 a 515nm. Para uma resina ser aceita, é necessário que o tempo de ativação recomendado pelo fabricante promova 1,5 mm de profundidade de polimerização. Para avaliar essa profundidade de polimerização, foi padronizado o método de raspagem, com espátula de plástico da porção não polimerizada. Concluíram que aparelhos com intensidade de 300 mW/cm^2 parecem ser efetivos na fotoativação da maioria das resinas, se utilizado um tempo de irradiação apropriado.

Em 2002, Martins *et al.* avaliaram a influência da intensidade da luz e cor de uma resina composta no grau de dureza Knoop. Corpos-de-prova foram confeccionados utilizando-se matrizes de poliéster envoltas por um anel de cobre, contendo uma cavidade padronizada de 6 mm de diâmetro por 2 mm de espessura. Estas cavidades foram preenchidas com a resina composta Fill Magic (Vigodent), com as cores A3, B3, C3, D3 e I, fotopolimerizadas por um fotopolimerizador Elipar, calibrado para produzir 3 intensidades de luz diferentes: 450 mW/cm^2 , 800 mW/cm^2 e uma intensidade de luz crescente de 100 a 800 mW/cm^2 . Foram confeccionados 90 corpos-de-prova, em que o tempo de exposição da resina à luz halógena foi de 40s. As amostras foram armazenadas em tubos de ensaio com água destilada a 37°C . Após este período, foram realizados os testes de dureza Knoop nas superfícies de topo e base. Os resultados mostraram que houve diferença estatística em relação a intensidade de luz, entretanto em relação a cor, não houve diferença estatística. Os autores concluíram que a cor do compósito não influencia nos valores de dureza Knoop e que a intensidade progressiva de luz promoveu os melhores resultados de microdureza.

Com a proposta de avaliar a efetividade de polimerização de alguns aparelhos fotoativadores, Yoon *et al.*, em 2002, compararam as tecnologias LED, arco de plasma e halógena convencional quanto ao grau de conversão dos monômeros que estes aparelhos alcançavam quando a mesma densidade de energia total era empregada. Para isto, utilizaram as resinas compostas Revolution (Kerr), Surefil (Dentsply) e Filtek Z250 (3M/ESPE), com as quais foram confeccionados espécimes de 5 mm de espessura e polimerizados com as unidades Spectrum 800 (halógena), um LED experimental de arranjo de diodos, sendo para estas duas fontes de luz a densidade de potência de 400 mW/cm^2 e tempo de exposição de 20s e 40s, e aparelho o Apollo 95E (arco de plasma) com densidade de 1472 mW/cm^2 irradiado pelos tempos de 5s e 10s, fixando as densidades de energia em 8 e 16 J/cm^2 . Posteriormente,

os espécimes foram submetidos à espectroscopia por infravermelho Fourier para análise do grau de conversão. Os resultados mostraram que a resina fluida, ou seja, com menor quantidade de carga, quando polimerizada com a luz halógena, apresentou o mais alto grau de conversão. No tempo de 40s, observou-se maior polimerização comparado ao tempo de 20s, exceto para a resina Z250. Em relação ao LED, os tempos de 20s e 40s demonstraram similaridade no grau de conversão, enquanto que para o arco de plasma o tempo de 10s se mostrou mais eficiente que a irradiação por 5s. Os autores relataram que quando a energia total foi de 8 J/cm^2 , todas as unidades apresentaram comportamento semelhante, no entanto, quando a energia foi de 16 J/cm^2 , esta similaridade ocorreu em espessuras até 2 mm, pois o grau de conversão diminuiu significativamente com o aumento da espessura do material além de 3 mm.

Price *et al.* (2002) compararam a microdureza Knoop de diferentes espessuras de resinas compostas fotoativadas com luz halógena e arco de plasma. Confeccionaram cavidades em discos de esmalte e dentina com espessuras de 2, 3, 4 e 5 mm que foram preenchidas com resinas híbridas e irradiadas com aparelho de arco de plasma (densidade de potência acima de 1999 mW/cm^2) e luz halógena (densidades de 588 mW/cm^2 e 844 mW/cm^2). A dureza foi medida nas superfícies de topo e base, imediatamente após a polimerização e depois de armazenadas em água destilada a 37°C por 24 horas e por 7 dias. Tanto a espessura de resina quanto a fonte de luz teve efeito significativo na dureza. A luz halógena com densidade de potência de 844 mW/cm^2 induziu aos maiores valores de microdureza e o arco de plasma aos menores. Para todos os corpos-de-prova com 2 mm de espessura, independentemente da fonte de luz, os valores de dureza do fundo não foram significativamente diferentes dos seus valores no topo com o mesmo tempo. Para os de 3 mm, usando luz halógena com 844 mW/cm^2 , os valores de dureza da superfície de base das duas resinas não foram diferentes do topo e usando a luz halógena com menor intensidade, os mesmos só não foram diferentes para a resina P60 e somente em 24 horas e 7 dias, mas não quando medidos imediatamente. Para todas as demais espessuras, os valores de dureza da base foram menores do que no topo para o mesmo tempo.

Com o intuito de comparar dois aparelhos à base de LED com um aparelho de lâmpada halógena convencional, Asmussen e Peutzfeldt, em 2003, realizaram uma pesquisa com três resinas compostas. As propriedades avaliadas foram resistência flexural e modular, através do teste em três pontos de curvatura do espécime. A profundidade de polimerização foi avaliada pela remoção do material por raspagem após a ativação, a contração de

polimerização pelo método de “*bonded-disk*” e o grau de conversão por espectroscopia por infravermelho Fourier. Pelos resultados obtidos, os autores puderam verificar que as propriedades mecânicas das resinas compostas após a fotoativação com LED foram semelhantes ou inferiores às propriedades das resinas fotoativadas com a unidade de lâmpada halógena. No entanto, os autores relatam que embora os aparelhos de LED tenham alcançado valores de resistência flexural e profundidade de polimerização inferiores em relação à fonte de luz halógena, os valores apresentados atenderam às exigências da ISO.

Price *et al.* (2003) compararam a segunda geração de LED a um aparelho de luz halógena para determinar qual deles é responsável por uma melhor fotoativação de resinas compostas. Dez resinas compostas foram fotoativadas por 20 e 40s com LED e 40s com lâmpada halógena. As amostras foram confeccionadas com 1,6 mm de espessura e foram irradiadas com o aparelho fotoativador a uma distância de 2 e 9 mm. A dureza Knoop foi avaliada no topo e na base das amostras, 15 minutos e 24 horas após a ativação. Os diferentes tempos de exposição e fontes de luz não mostraram o mesmo efeito em todos os compósitos. Para as análises realizadas 24 horas depois da irradiação, o LED usado por 20s polimerizou 5 das 10 resinas tanto quanto a luz halógena usada por 40s. Quando usado por 40s, o LED polimerizou 6 compósitos tanto quanto a luz halógena e todas as 10 resinas alcançaram mais que 80% da dureza obtida quando a luz halógena foi usada. Concluiu-se que o LED não pode polimerizar resinas tanto quanto a luz halógena. Entretanto, quando usado por 40s, todos os compósitos alcançaram dureza comparáveis aos polimerizados pela luz halógena.

Em 2004, com o objetivo de avaliar a profundidade de polimerização e a dureza Knoop de compósito restaurador fotoativado por diferentes métodos, Obici *et al.* preencheram uma matriz metálica bipartida (3 mm de diâmetro X 11 mm de altura) com um compósito e fotoativaram através da luz contínua, luz exponencial, luz intermitente, arco plasma ou LED. Após a abertura da matriz, o material não polimerizado foi removido com o auxílio de uma espátula metálica e o compósito polimerizado medido com um paquímetro digital. Os espécimes foram incluídos em resina acrílica autopolimerizável e desgastados longitudinalmente. A dureza foi medida na superfície e nas profundidades de 1, 2, 3, 4 e 5 mm. Os resultados mostraram que a profundidade de polimerização foi maior com a luz intermitente, seguida pela luz contínua, luz exponencial, arco plasma e LED. Até a profundidade de 2 mm, todos os métodos de fotoativação revelaram valores de dureza similares, porém diferiram a outras profundidades, onde o LED demonstrou os menores valores, seguido pelo arco plasma.

Em 2004, Rahiotis *et al.* compararam o grau de conversão do monômero e a profundidade de polimerização de uma resina composta híbrida exposta a diferentes tipos de fontes de luz e modos de exposição. A conversão do monômero foi investigada através de espectroscopia de infravermelho Fourier e a profundidade de polimerização foi determinada usando-se a mensuração da microdureza Vickers nas espessuras de 2 e 4 mm. As amostras polimerizadas pelo LED apresentaram menor grau de conversão. Não foram observadas diferenças nos valores de microdureza Vickers independente do tipo de fonte de luz utilizado; entretanto foi observada uma diminuição nos valores a 4 mm, em comparação aos obtidos a 2 mm.

O objetivo de Soh e Yap (2004) em seu estudo foi de investigar a influência dos modos de fotopolimerização na densidade de ligações cruzadas nas resinas compostas. A resina Filtek Z100 (3M/ESPE) na cor A2 e a unidade fotopolimerizadora VIP (BISCO) foram selecionadas para tal estudo. Entre as várias possibilidades de combinações de tempo de ativação e intensidade de luz transmitida pelo aparelho, foram avaliados quatro diferentes modos de cura: controle (400 mW/cm² por 40s), *pulse-delay* (100 mW/cm² por 10 s, espera de 3 min e 500 mW/cm² por 30s), *soft-start* (200 mW/cm² por 20s + 600 mW/cm² por 20s) e *pulse cure* (400 mW/cm² por 20s+ espera de 20s + 400 mW/cm² por 20s). Foram realizadas 6 amostras para cada grupo que foram estocadas por 24 horas. Estas amostras foram então submetidas a medidas diretas e indiretas para avaliar o grau de conversão das ligações cruzadas através de testes de transição de temperatura vítrea e dureza após estocagem em etanol. Os resultados mostraram que os valores de densidade de ligações cruzadas foram maiores para a técnica convencional, seguida de *pulse cure*, posteriormente pela *soft-start* e por fim a técnica de *pulse-delay*. Em relação à microdureza, os valores encontrados para a técnica convencional, *pulse-delay* e *soft-start* foram significativamente superiores aos da técnica de *pulse cure*. Após a estocagem em solução etanol/água, os valores mostraram que os espécimes polimerizados com o *pulse-delay* tiveram susceptibilidade maior no amolecimento que os espécimes do grupo do *pulse cure*. Nenhuma outra diferença significativa foi observada nas ligações cruzadas entre os vários modos de ativação. Desta forma, concluiu-se que a densidade de ligações cruzadas é dependente do modo de fotopolimerização e que comparando os modos estudados, o *pulse-delay* resultou em estrutura polimérica linear com menos ligações cruzadas que as outras técnicas empregadas no estudo.

Tsai *et al.* (2004) avaliaram a profundidade de polimerização e a microdureza superficial da resina composta Filtek Z250 (3M/ESPE) polimerizada por três aparelhos do

tipo LED (E-Light – GC; Elipar Freelight – 3M/ESPE; 475H – RF), um aparelho de alta densidade de potência do tipo halógena (Optilux 501 - Kerr) e um aparelho de lâmpada halógena convencional (Sirona – S1). A profundidade de cura após 40s de exposição às fontes de luz foi determinada em espécimes de 10 mm de espessura pela microdureza Vickers, a cada 1 mm da extensão da resina composta. As unidades de luz halógena apresentaram os melhores resultados de dureza. Já os aparelhos de LED mostraram valores de dureza similares entre si, embora inferiores aos halógenos. Observou-se que a dureza superficial não foi estatisticamente diferente entre LED e luz halógena, entretanto, conforme a dureza era medida num ponto mais distante do topo do espécime, esta propriedade diminuiu mais rapidamente para as unidades de LED, especialmente em profundidades além de 3 mm. Os autores concluíram que os aparelhos de LED estudados permitem grau de polimerização adequado para as espessuras de resina composta recomendadas para uso da técnica incremental (2 mm ou menos) e que para espessuras além desta, seu desempenho não mais equivale ao dos aparelhos de luz halógena convencional e de alta potência.

Yap *et al.* (2004) investigaram a influência de diferentes fontes de luz e modos de fotoativação nas densidades de ligações cruzadas das resinas compostas. A polimerização de monômeros de metacrilatos nas resinas compostas resulta em uma estrutura com grande número de ligações cruzadas. A conversão dos monômeros nunca é completa e o polímero normalmente contém consideráveis quantidades de remanescentes, duplas ligações que não reagiram. Para as resinas compostas, o grau de conversão é um importante fator que influencia nas propriedades mecânicas e na quantidade de monômeros livres. Porém, o grau de conversão não fornece uma caracterização completa da estrutura do polímero, não levando em consideração as áreas de alta e baixa conversão podendo demonstrar a mesma quantidade de duplas ligações remanescentes como se o material fosse polimerizado homogeneamente, ou seja, polímeros que possuem diferentes densidades de ligações cruzadas podem ter os mesmos valores de conversão. As resinas compostas com poucas ligações cruzadas são mais propensas a hidrólise e sorção de água diminuindo suas propriedades e longevidade. A densidade de ligações cruzadas é dependente do tipo de fonte de luz e do modo de fotoativação utilizados. Os aparelhos LED foram introduzidos para tentar solucionar os problemas da luz halógena, como produção de calor durante a utilização e degradação do bulbo, refletor e filtro durante o tempo, por operar em altas temperaturas. Porém, segundo o autor, resinas fotoativadas com LED possuem menos ligações cruzadas do que as fotoativadas com luz halógena.

Wiggins *et al.* (2004) avaliaram 4 aparelhos fotoativadores: luz halógena convencional, luz halógena de alta intensidade, LED da primeira geração e LED de alta intensidade, por meio da determinação da extensão da polimerização, da adesão e do aumento de temperatura. A intensidade de luz do LED de alta intensidade foi de 1000 mW/cm^2 , comparável ao da luz halógena de alta intensidade. As médias da adesão obtidas para as resinas fotoativadas pelo LED de alta potência por 10s foram equivalentes às obtidas pelos demais aparelhos utilizados por 20s. A resina composta fotoativada pelo LED de alta potência por 10s mostrou um menor aumento de temperatura do que o de luz halógena de alta intensidade quando utilizados pelo mesmo tempo ou do que pela luz halógena convencional utilizada por 20s. Concluíram que o aparelho LED de alta intensidade operado por baterias pode ser efetivo, reduzindo o tempo de fotoativação pela metade.

Bala *et al.*, em 2005, avaliaram a profundidade de polimerização de algumas resinas compostas polimerizadas com aparelhos de lâmpada halógena e LED de segunda geração. Foram utilizados espécimes com dimensões de 6 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, confeccionados com resinas híbridas (Esthet-X e Filtek Z250) e resinas compactáveis (Filtek P60, Prodigy, Surefil, Solitaire). Os materiais foram fotoativados por 40s com os aparelhos Hilux Ultra Plus (600 mW/cm^2) e o LED Elipar Free Light (400 mW/cm^2) e, em seguida, submetidos ao teste de profundidade de polimerização com espectroscopia por infravermelho. Os resultados deste trabalho mostraram que o LED, de forma geral, alcançou melhores extensões de material polimerizado quando comparado com o aparelho convencional, sendo que, seu maior valor obtido de 61% de polimerização e o da unidade de lâmpada halógena de 55,6%. Desta forma, os autores concluíram que a tecnologia LED com diodos de alta densidade de potência apresenta vantagens em relação à tecnologia baseada na lâmpada halógena, mesmo quando sua densidade total é menor que desta e, isto ocorre devido à maior concentração da luz emitida na região espectral de interesse para a polimerização dos materiais resinosos.

Cefaly *et al.* (2005) avaliaram a microdureza de materiais resinosos polimerizados com unidades de fotoativação LED e halógena. Vinte espécimes cilíndricos (3 mm de diâmetro e 2 mm de altura) foram preparados para cada material testado (Z100, Definite e Dyract), na cor A2. Os espécimes foram fotoativados na face superior (topo), utilizando duas unidades de fotoativação: UltraLed, com 130 mW/cm^2 e Curing Light 2500, com 760 mW/cm^2 , nos tempos de 40 e 60s. As medidas de dureza foram realizadas nas superfícies de topo e base de cada espécime. Três leituras de microdureza Vickers foram realizadas em cada superfície. Com base nos resultados, não houve diferença significativa na dureza da face

superior entre as unidades LED e halógena para os compósitos Z100 e Dyract. Por outro lado, a dureza foi menor quando a Definite foi polimerizada com o LED do que com a unidade halógena. Na base, a dureza de todos os materiais foi menor com o LED do que com a unidade halógena. O compósito Z100 apresentou maior dureza que o Dyract e que a Definite independentemente da unidade de fotoativação. Não houve diferença significativa na dureza entre os dois tempos de fotoativação para a face superior. Na base, a dureza foi maior quando os materiais foram polimerizados por 60s. O LED não foi capaz de produzir a mesma dureza que a unidade halógena nos materiais resinosos testados.

A partir da hipótese de que, padronizando-se variáveis, como fonte de luz, tipo de partícula de carga e seu tratamento superficial, seria possível utilizar a Lei de Beer-Lambert para prever a absorção em resinas compostas fotopolimerizáveis, Emami *et al.*, realizaram um estudo em 2005. Foi utilizada uma mistura de 50% de Bis-GMA e 50% de TEGDMA, juntamente com um fotoiniciador e um co-iniciador. Três diferentes tipos de partículas de carga foram adicionados a essa mistura em oito diferentes porcentagens de volume. A superfície dessas partículas foi ou não tratadas com silano. Os corpos-de-prova foram polimerizados por luz halógena ou laser. Os valores de absorbância dos diferentes materiais foram analisados e os resultados obtidos revelaram que maior quantidade de luz foi absorvida quando o laser foi utilizado. As amostras com diferentes partículas de carga também apresentaram diferentes valores de absorbância. Os autores concluíram que fatores como tipo de partícula de carga, tratamento superficial e tipo de fonte de luz afetam a atenuação da luz. Desse modo, não apenas a composição dos compósitos deve ser considerada nos estudos da absorção de luz dos compósitos odontológicos, mas também o tipo de incidência de luz.

Firoozmand *et al.*(2005) verificaram a profundidade de polimerização em resina composta, quando utilizados os fotopolimerizadores de luz halógena (Optilux e Optilight 600) e LED (LEC 470-I), através da mensuração da dureza superficial a 2, 3 e 4 mm de profundidade. Utilizou-se uma matriz de aço inoxidável para a obtenção dos corpos-de-prova e cada aparelho polimerizador formou um grupo com 15 corpos de prova. Foi utilizada a resina composta Z100 (3M/ESPE) na cor A3, que foi fotopolimerizada por 40s e armazenada em um recipiente contendo água destilada à 37°C, por 24 horas. As amostras foram embutidas em resina acrílica a fim de serem corretamente posicionadas no aparelho Microdurômetro Digital Vickers. Realizado o acabamento e polimento, os blocos de resina foram submetidos ao teste de dureza onde receberam impressões a cada milímetro do compósito. As melhores condições foram verificadas para o Optilux e as piores para o LEC 470 I, independentemente da profundidade de polimerização; enquanto o Optilight ocupou uma posição intermediária.

Os aparelhos de luz halógena polimerizaram a resina nas profundidades de 2, 3 e 4 mm, já o aparelho de LED polimerizou o material apenas nas profundidades 2 e 3 mm da amostra. Concluiu-se que as amostras polimerizadas com os aparelhos de luz halógena apresentaram dureza superficial maior do que aquelas polimerizadas com o aparelho de LED.

Rode *et al.* (2005) realizaram uma comparação da fotoativação de uma resina composta com luz halógena, laser de argônio e LED, por meio da microdureza. Para isto utilizaram três tipos de aparelhos. Foram confeccionados 75 discos de uma resina microhíbrida, por meio de uma matriz preta com diferentes espessuras (1, 2, 3 e 4 mm) e fotoativados com luz halógena por 40s; laser de argônio por 30s; e o LED por 40s. Testes de microdureza Vickers foram realizados, na superfície oposta à incidência da luz, no microdurômetro com uma carga de 50 Kgf por 45s. Analisando a qualidade de polimerização concluíram que apenas a luz halógena conseguiu uma fotoativação satisfatória com 3 mm de espessura. A partir de 4 mm nenhuma fonte estudada conseguiu alcançar este resultado.

Weinmann *et al.* (2005) compararam o perfil do compósito resinoso à base de Silorano, que polimeriza a partir do processo de abertura do anel catiônico, com diferentes resinas à base de metacrilato. A resina Filtek Silorano foi comparada com as resinas Filtek Z250, Filtek P60, Tetric Ceram, SpectrumTPH, Orange, Aelite LS, Quixfil e Solitaire 2. O módulo de elasticidade, a resistência a flexão e a estabilidade em luz ambiente foram determinadas de acordo com a norma ISO 4049. Os métodos de Arquimedes e do disco aderido foram usados para mensurar a contração volumétrica. O compósito Silorano apresentou a menor porcentagem de contração de polimerização tanto com o método do disco aderido (0,94% em volume) quanto com o método de Arquimedes (0,99% em volume) e sua reatividade foi comparável com a da Tetric Ceram. A estabilidade em luz ambiente do Silorano foi de 10 minutos, maior que a encontrada nos compósitos à base de metacrilato, que variou de 55 a 90 segundos. A química pela abertura do anel encontrada nos Siloranos permitiu a obtenção de valores de contração menores que 1% em volume e parâmetros mecânicos comparáveis aos compósitos convencionais.

A evolução dos aparelhos fotopolimerizadores pode ser notada nos diferentes sistemas introduzidos recentemente no mercado. A tecnologia apresentada pelos aparelhos LED promete maior tempo de vida útil, não gerar aquecimento e produzir luz específica para a ativação da canforoquinona. No entanto, ainda são necessários estudos complementares para se conhecer a real efetividade destes aparelhos na polimerização dos materiais. Com essa proposta, Briso *et al.* (2006) verificaram a microdureza de 4 cores (B-0,5, B-1, B-2 e B-3) da resina composta Filtek Z250 (3M/ESPE) quando polimerizadas com 4 fontes de luz, sendo

uma halógena (Ultralux - Dabi Atlante) e três LEDs (Ultraled - Dabi Atlante, Ultrablue - DMC e Elipar Freelight – 3M/ESPE). Para esse estudo, 192 corpos-de-prova foram distribuídos em 16 grupos e os materiais foram inseridos em único incremento em matrizes cilíndricas, sendo polimerizados pelo tempo preconizado pelo fabricante. Em seguida, foram submetidos ao teste de microdureza na superfície superior e inferior dos cilindros. Foi observado que a dureza dos corpos-de-prova variou conforme a cor do material e aparelhos utilizados. O aparelho LED que emite maior intensidade luminosa proporcionou a obtenção dos maiores valores de dureza, com o croma B0,5 possibilitando a melhor polimerização. Por outro lado aparelhos com baixa intensidade luminosa foram os menos efetivos. Também foi observado que a região do fundo dos corpos-de-prova foi mais sensível à mudança das cores. Os autores concluíram que a intensidade de luz dos fotopolimerizadores LED é fundamental para seu bom funcionamento, principalmente quando empregadas resinas com croma mais acentuado.

D'Alpino e Svizero, em 2006, realizaram uma revisão de literatura em que classificou os LEDs em três gerações. A primeira geração surgiu no final dos anos 90 e apresentava baixa densidade de potência (ou intensidade de luz), inferior a 200 mW/cm^2 , mas com espectro de radiação mais estreito em relação ao espectro da luz halógena e coincidente com a absorvância da canforoquinona. Entretanto, mostraram-se pouco efetivos na polimerização das resinas. A segunda geração emitia luz em maior intensidade, comparável à densidade de potência dos aparelhos com lâmpada halógena de alta intensidade ($>1000 \text{ mW/cm}^2$). O principal problema dos primeiros aparelhos de LED (primeira e segunda geração) é que eles apresentavam incapacidade de ativação de materiais resinosos com fotoiniciadores diferentes da canforoquinona, já que o espectro de irradiância destes primeiros aparelhos era estreito. Para solucionar esses problemas foram desenvolvidos os aparelhos LED de terceira geração. Esses aparelhos emitem luz azul e luz no comprimento de onda na cor violeta (em torno de 400nm), com uma potência elevada, cerca de 1200 mW/cm^2 , tornando a polimerização das resinas compostas eficiente.

Em 2006, Ilie e Hickel examinaram as características de compostos à base de silorano, monômero com uma nova composição química, e compararam com as características dos materiais à base de metacrilato. Grau de conversão a 2 e 6 mm, dureza, módulo de elasticidade e resistência à fratura foram as propriedades avaliadas. Os materiais não apresentaram diferenças estatísticas quanto à dureza. Entretanto, os compósitos com silorano mostraram um menor módulo de elasticidade e uma maior resistência à fratura que os

metacrilatos. Os autores concluíram que os siloranos exibem boas propriedades mecânicas, comparáveis as dos materiais à base de metacrilato.

Rasteli *et al.* avaliaram, em 2006 a capacidade de polimerização de uma nova geração de LEDs (LEC 1000 – MMOPTICS) e de um aparelho de luz Halógena (Curing Light 2500 - 3M/ESPE) utilizados pelos tempos de 10, 20 e 40s, e na técnica de fotoativação trans-dental pelo tempo de 40s. Utilizou-se uma matriz metálica circular contendo orifício central com 4 mm de diâmetro e 2 mm de espessura (ISO 4049) para confeccionar as amostras, utilizando-se a resina composta Filtek Z250 (3M/ESPE). Após a fotoativação, as amostras foram armazenadas em meio seco a 37°C, durante 24 horas. Logo após esse período, medidas de dureza Vickers foram obtidas nas superfícies de topo e base das amostras. Foram realizadas 4 impressões por superfície. O dispositivo LED, pelos tempos de 20 e 40s, proporcionou os maiores valores médios de dureza nas superfícies de topo e de base.

Com o objetivo de comparar a elevação de temperatura produzida por um aparelho fotopolimerizador de lâmpada halógena e 3 aparelhos à base de LED, Godoy *et al.* verificaram, em 2007, a elevação de temperatura produzida pelos aparelhos durante a fotopolimerização do sistema adesivo Scotchbond Multi-Purpose (3M/ESPE) e de um incremento de 2 mm de espessura da resina composta Filtek Z350 (3M/ESPE), fotopolimerizados por 20 e 40s, respectivamente. Os aparelhos usados foram um fotopolimerizador de lâmpada halógena Optilux 401 (Demetron) e três LEDs: LEDemetron I (Kerr), Bluephase (Ivoclar Vivadent) e Elipar Freelight (3M/ESPE). A análise dos resultados mostrou que o LED Bluephase produziu os maiores valores de elevação de temperatura durante a polimerização do sistema adesivo (17,6°C), sendo estatisticamente similar ao Optilux 401 (16°C). O menor valor foi registrado para o Elipar Freelight com 7,2°C no sistema adesivo e 3,1°C na resina composta. A maior elevação de temperatura foi durante a fotopolimerização da resina composta (6,2°C) com o Optilux 401. A elevação de temperatura registrada no sistema adesivo foi estatisticamente maior que a da resina composta. O Elipar Freelight registrou o menor valor de elevação de temperatura quando comparado aos demais aparelhos.

Em 2007, Hubbezoglu *et al.* examinaram a dureza superficial de 4 tipos de resina composta com diferentes tipos de partículas de carga e matrizes orgânicas. Dez espécimes de 2 mm de espessura e 4 mm de diâmetro de cada resina foram polimerizados usando luz halógena, LED ou arco plasma. Avaliações de microdureza Vickers foram realizadas nas superfícies de topo e base de cada espécime. A morfologia da superfície de topo dos compósitos polimerizados com LED foi observada com microscópio eletrônico de varredura.

Os resultados indicaram que os compósitos polimerizados com luz halógena ou LED alcançaram maiores valores de microdureza. As amostras polimerizadas com arco plasma obtiveram os menores valores de microdureza para todos os materiais. Entre os materiais testados, as resinas compostas nanoparticuladas alcançaram os valores mais altos de microdureza para cada tipo de polimerização.

Ilie *et al.* (2007) examinaram o comportamento de compósitos à base de silorano em relação ao desenvolvimento de tensão de contração durante a polimerização. Um compósito experimental foi usado para a avaliação do desenvolvimento tensão de contração durante a polimerização realizada com 10 regimes de fotoativação de duas unidades fotoativadoras de luz LED (Bluephase com a ponta Turbo ou com a ponta MiniLED). A fotoativação com a ponta MiniLED foi realizada com os regimes de ativação rápida (durante 10, 20 e 40s), ativação em pulso (durante 12, 24 e 48s) e ativação em etapas (durante 20s); enquanto que a fotoativação com a ponta Turbo foi realizada com o regime de fotoativação com alta intensidade de energia (durante 10, 20 e 40s). A tensão de contração devido à polimerização foi medida e registrada por 300s após a fotoativação. As unidades fotoativadoras mostraram correlação significativa com as tensões geradas no que diz respeito à densidade de energia. A irradiância, o tempo de exposição, o coeficiente de contração linear e o ponto gel também apresentaram relação significativa com as tensões, porém em menor intensidade. Os compósitos à base de silorano apresentaram baixos valores de tensão de contração de polimerização em comparação com aqueles à base de metacrilatos. Altos valores de irradiância resultaram em maiores taxas de tensão de contração.

Rode *et al.* (2007) avaliaram a influência da distância da ponta fotopolimerizadora na cura da resina composta Z250 (3M/ESPE). Diferentes fontes de luz (halógena, LED e laser de argônio) foram utilizados para fotoativar a resina. Espessuras de 0, 1, 2, 3 e 4 mm de resina foram utilizadas e polimerizadas a uma distância de 0, 3, 6 e 9 mm da ponta da unidade fotopolimerizadora. As amostras foram analisadas por espectroscopia de laser Raman e por um microdurômetro. Os resultados mostraram que o aumento da distância da fonte de luz da resina composta diminuiu os valores de microdureza e o grau de conversão em todos os tipos de fontes de luz estudadas. Para todas as unidades fotoativadoras, o aumento da espessura da resina diminuiu o grau de conversão e a microdureza, independente da distância da fonte de luz.

Alpöz *et al.* investigaram, em 2008, a microdureza e a resistência à compressão de uma resina composta (Tetric-Ceram, Ivoclar Vivadent), um compômero (Compoglass, Ivoclar Vivadent), e um cimento de ionômero de vidro modificado por resina (Fuji II LC, GC Corp)

polimerizados usando luz halógena (Optilux 501, Demetron, Kerr) e LED (Bluephase C5, Ivoclar Vivadent) em diferentes tempos de exposição. Foram criados 3 grupos, sendo que no primeiro as amostras foram polimerizadas com luz halógena por 40s e no segundo e no terceiro foram polimerizadas com LED por 20 e 40s respectivamente. O tempo de exposição de 40s com o LED mostrou-se similar ou mais eficiente do que com a luz halógena. Entretanto, a aplicação do LED por 20s mostrou menor eficiência que a aplicação por 40s. Os resultados permitiram que os autores concluíssem que é importante aumentar o tempo de exposição e usar apropriadamente os aparelhos polimerizadores para maximizar a dureza e a resistência à compressão dos materiais restauradores.

Ganime *et al.*, em 2008, avaliaram a influência das fontes fotoativadoras LED pulsante (LD13 - GGDent) ou halógena (Optilux 501 - Demetron) na microdureza Knoop da resina composta Z250 (3M/ESPE) na cor A3, em três profundidades distintas. Para tanto, foram confeccionadas 20 cavidades Classe I em terceiros molares humanos, separados em 2 grupos (n=10). As cavidades foram preparadas nas dimensões de 3 x 4 x 3mm e as restaurações foram confeccionadas em três incrementos oblíquos, sendo a fotoativação de cada incremento realizada com 20s em modo contínuo para fonte halógena ou 60s para fonte LED (10s em modo pulsante e 50s em modo contínuo). Em seguida, as amostras foram armazenadas por 7 dias em 100% de umidade relativa, na temperatura de 37°C. Após o período de armazenagem, as coroas foram seccionadas no sentido mésio-distal em cortadeira metalográfica. As hemicoroas foram incluídas em resina de poliestireno e a superfície que continha a restauração recebeu acabamento com lixas de óxido de alumínio nas granulações de 600, 1200 e 2000 e polimento com discos de feltro e pastas diamantadas com granulações de 6, 3 e 1 µm. O ensaio de microdureza Knoop foi realizado com carga de 25g durante 20s. Foram realizadas 15 penetrações em cada hemicoróa, sendo 5 em cada profundidade estudada. Os resultados obtidos revelaram que não houve diferença estatística significativa entre as profundidades estudadas. A maior média de dureza obtida foi com a fonte LED, apresentando diferença estatística significativa em relação à fonte halógena. Pode-se concluir que a densidade de energia dos aparelhos influenciou nos resultados de dureza obtidos.

O modo de polimerização sofreu constantes mudanças durante os últimos 30 anos. Desde 2007, a era do LED tem sido definitivamente estabelecida. Nos dias de hoje, quatro tipos de aparelhos de polimerização estão disponíveis no mercado: luz halógena, arco plasma, laser argônio e LED. Além disso, diferentes protocolos foram criados para melhorar a polimerização. Avaliando a literatura a respeito desse tema, Krämer *et al.* (2008), concluíram que, com os LEDs de última geração, o tempo de ativação de incrementos de 2 mm de

espessura de resina composta pode ser reduzido para 20s. Foi observado também que a profundidade de polimerização depende fundamentalmente da distância da fonte de luz, mas só é decisiva quando essa distância ultrapassa 6 mm. Os autores apontaram que a geração de calor pelas fontes de luz de alta potência não deve ser subestimado como um problema biológico para os tecidos gengival e pulpar.

Aguiar *et al.*, em 2009, avaliaram a influência das fontes de luz e de diferentes espessuras de resinas compostas em seus valores de microdureza. Espécimes de resina composta foram preparados e divididos em 9 grupos considerando os 3 tipos de fontes de luz (luz halógena convencional – 550 mW/cm² por 20s, luz halógena de alta intensidade – 1160 mW/cm² por 10s e LED – 360 mW/cm² por 40 s) e as 3 espessuras (0,5; 1 e 2 mm). A microdureza Knoop foi aferida nas superfícies de topo e base de todas as amostras. As superfícies de topo apresentaram valores similares. Entretanto, em relação à base, diferenças estatísticas foram encontradas entre fontes de luz e espessuras das amostras. Em todos os grupos, as amostras de 0,5 mm de espessura mostraram valores de microdureza maiores do que aqueles observados nas amostras de 1 e 2 mm. A luz halógena convencional e o LED mostraram maiores valores de dureza e foram estatisticamente diferentes da luz halógena de alta intensidade. Em todos os grupos experimentais, os valores de microdureza obtidos na superfície de topo foram maiores do que os observados na base. Concluiu-se que a resina composta possui capacidade de redução da penetração da luz e conseqüentemente, da efetividade de polimerização da base em relação à superfície. Por esse motivo, a utilização de adequados aparelhos fotopolimerizadores e espessuras dos incrementos são cruciais para a obtenção de uma polimerização satisfatória das resinas compostas, especialmente quando usadas em cavidades profundas.

O desempenho clínico das restaurações de resina composta está diretamente relacionado

com a qualidade da polimerização obtida através dos aparelhos fotopolimerizadores. Em 2008, Reston *et al.* avaliaram a microdureza Vickers de uma resina composta polimerizada com três diferentes fontes de luz. Foram utilizados os aparelhos de luz halógena convencional Visilux 2 (3M/ESPE), um LED de primeira geração Optilight Plus (Gnatus), e um LED de terceira geração Radium (SDI). Foram confeccionados 30 corpos-de-prova utilizando a resina Filtek Z250 (3M/ESPE), dividindo-os em 3 grupos. As amostras foram submetidas ao teste de microdureza Vickers nas superfícies de topo e base. Os resultados estatísticos mostraram que as amostras polimerizadas pelo LED de primeira geração apresentaram os menores valores de dureza, tanto na base quanto no topo. Concluiu-se que, entre os LEDs estudados, o Radium

mostrou os melhores resultados de microdureza Vickers, sendo semelhantes ao aparelho de luz halógena.

Ao comparar a efetividade de duas resinas compostas, Filtek Z250 (3M-ESPE) e Spectrum TPH (Dentsply) ativadas com luz halógena, Hilux 200 (Benlioglu) e LED, Smartlite IQ (Dentsply), Cebalos *et al.* (2009) observaram que a resina Filtek Z250 apresentou melhores valores de dureza Vickers e exibe maior profundidade de polimerização que a resina Spectrum TPH. Nesse estudo, a profundidade de polimerização e a microdureza não foram afetados pelo tipo de fonte de luz utilizado. Entretanto, os valores de dureza foram influenciados pela interação entre fonte de luz e tempo de exposição. Os espécimes irradiados por 20s mostraram maiores valores de microdureza quando o LED foi utilizado. O tempo de exposição não influenciou nos valores de microdureza nas profundidades de 0,5 a 2,5 mm. Em profundidades maiores, exposições de 40s produziram melhores resultados de microdureza. Foi possível concluir que a efetividade de polimerização das resinas compostas não é dependente somente da fonte de luz utilizada. Os resultados variam de acordo com a espessura da resina composta, a sua composição e o tempo de exposição.

Firoozmand *et al.* verificaram, em 2009, a influência da opacidade de cor e dos tipos de aparelhos fotopolimerizadores na microdureza da resina composta. Para isso, formaram 8 grupos com 15 amostras cada, sendo estes divididos conforme as fontes polimerizadoras utilizadas: aparelhos de luz halógena ou de LED, a área de exposição: topo ou base, e a opacidade da resina composta empregada: A2 ou A2O, perfazendo um total de 120 amostras de estudo. As amostras foram armazenadas em água destilada, por 24h e embutidas em resina acrílica ativada quimicamente, sendo posteriormente realizados o acabamento e polimento com discos de lixa e de feltro. Realizou-se a leitura da microdureza em Microdurômetro Digital Vickers, utilizando 50g de carga por 30s de permanência. Após a avaliação dos resultados, os autores verificaram que a microdureza da superfície foi sempre maior que a da base independente do aparelho polimerizador utilizado. O aparelho de luz halógena apresentou maiores valores médios de microdureza da resina composta em relação ao aparelho de LED. Foram encontradas diferenças significantes entre os valores médios de microdureza ao se variar a opacidade, sendo que em profundidade obteve-se os menores valores com a resina A2-O. Concluíram então que a opacidade da resina, bem como, o aparelho fotopolimerizador influenciam no grau de microdureza da resina composta.

Giorgi e Paulillo avaliaram, em 2009, o efeito de unidades fotoativadoras na microdureza de restaurações de resina composta Classe I em diferentes profundidades. Dois

LEDs (Freelight 2 e Radian) e uma luz halógena (Optilux 501) foram avaliados. Foram preparadas 30 cavidades Classe I em terceiros molares humanos e restauradas com uma resina microhíbrida (Charisma) e com uma microparticulada (Renamel). Depois de armazenamento por 7 dias, as coroas dos dentes foram seccionadas mesiodistalmente e o teste de microdureza foi realizado com uma carga de 25g por 20s. Quinze indentações foram realizadas em 3 profundidades de cada meia-coroa. A resina Charisma apresentou maiores valores de dureza Knoop que a Renamel, independentemente da fonte de luz utilizada e da profundidade avaliada. A dureza superficial da resina Charisma não apresentou diferença nos valores para os dois LED. Esses valores foram superiores aos obtidos com luz halógena. Já a resina Renamel obteve maiores valores de dureza quando polimerizada por luz halógena comparados com o LED em todas as profundidades avaliadas. Com os resultados desse estudo os autores concluíram que a efetividade de polimerização está relacionada não apenas ao tipo de fonte de luz mas também à composição da resina e a espessura do incremento.

Com o propósito de diminuir a contração de polimerização, o silorano foi recentemente introduzido na Odontologia como matriz orgânica de resinas compostas. Como baixa contração e boas propriedades mecânicas são geralmente propriedades opostas, Ilie e Hickel (2009) realizaram um estudo para analisar o comportamento mecânico desse novo material, comparando com seis resinas à base de metacrilato, depois do armazenamento em água por 24 horas e em água, saliva e álcool por 4 semanas. A análise dos resultados mostrou um decréscimo significativo nas propriedades mecânicas após o armazenamento por 4 semanas em todos os materiais em comparação com o armazenamento por 24 horas. Os piores resultados foram obtidos quando o álcool foi utilizado. A resina com silorano revelou boas propriedades mecânicas. O material se apresentou bastante estável e mais confiável para armazenamento em álcool que as resinas com metacrilato.

Para verificar se a microdureza de uma resina composta é alterada pelo tipo de fonte de luz ou pela espessura do incremento, Rode *et al.* (2009) dividiram discos de resina em 15 grupos de acordo com os fatores estudados. As fontes de luz usadas para ativação foram luz halógena (500 mW/cm², por 40s), laser de argônio (600 mW/cm², por 30s) e LED (400 mW/cm², por 30s). As espessuras de resina estudadas foram de 0, 1, 2, 3 e 4 mm. O teste de microdureza Vickers foi realizado uma semana após a confecção das amostras e analisaram a superfície de topo (0 mm – grupo controle) e as diferentes profundidades das amostras. Os testes estatísticos não mostraram diferença estatisticamente significantes entre as fontes de luz para os grupos com 0 e 1 mm de espessura. Em 2 mm de profundidade, a luz halógena mostrou valores mais elevados que o LED, mas não foram observadas diferenças com relação

ao laser argônio. Nos grupos com 3 e 4 mm de espessura, a luz halógena apresentou valores mais elevados de microdureza do que o laser argônio e o LED, sendo a única fonte de luz a promover uma polimerização satisfatória a 3 mm de espessura. Nos incrementos de 4 mm nenhuma fonte de luz foi capaz de promover polimerização satisfatória.

Com o objetivo de examinar a estrutura de oito resinas compostas fotopolimerizáveis, Scougall-Vilchis *et al.* realizaram, em 2009, um estudo utilizando microscópios eletrônicos de varredura e de transmissão. A dureza Vickers, a quantidade de carga e a composição química das resinas também foram analisadas. As resinas utilizadas foram: Beautifil II (Shofu Inc.), Clearfil AP-X e Clearfil Majesty (Kuraray Medical Inc.), Estelite Σ (Tokuyama Dental Corp.), Filtek Supreme e Filtek Z250 (3M-ESPE), Solare (GC Corporation) e Synergy (Coltène Whaledent AG). Os testes de microscopia revelaram uma grande diversidade estrutural e o teste de dureza Vickers mostrou diferenças significativas entre essas resinas compostas. Elementos similares como carbono, oxigênio e silício foram detectados, mas as concentrações eram bastante diferentes em cada resina, mostrando que o tamanho das partículas de carga assim como sua quantidade e a composição química das resinas influenciam nos valores de dureza Vickers.

Yesilyurt *et al.*, em 2009, investigaram o efeito de simulados líquidos da alimentação na dureza e resistência à fratura de resinas compostas com silorano, comparadas a compósitos com metacrilato. Quatro materiais restauradores foram usados (Filtek Silorane, P60, Z250, and Supreme XT). Os espécimes para os testes foram fabricados em moldes especiais e imediatamente após a polimerização os materiais foram estocados seguindo uma dieta de simulação de solventes a 37°C por uma semana: água destilada, ácido cítrico, heptano e solução aquosa de etanol 75%. Depois do condicionamento, a resistência à fratura e a dureza foram mensurados. A resina Filtek Silorane não apresentou diferenças significativas em ambos os testes. Em contravérsia, a microdureza dos compósitos com metacrilato apresentou valores significativamente menores depois do condicionamento em água e etanol. Da mesma maneira, os valores de resistência à fratura foram afetados pelo condicionamento em etanol. Provavelmente, as diferenças nas composições das partículas de carga das resinas foram as responsáveis pelos resultados desse estudo.

Para distinguir as propriedades físicas de uma resina à base de silorano em comparação a cinco resinas à base de metacrilato, Lien e Vandewalle (2010) examinaram em um estudo a resistência à compressão, a resistência à tração, o módulo de resistência flexural, a resistência à fratura, a microdureza e a contração de polimerização. Após a análise dos resultados, observou-se que comparada às resinas de metacrilato, as resinas de silorano

demonstraram menor contração de polimerização. Os resultados de resistência flexural e resistência à fratura foram superiores aos das resinas de metacrilato. Em contrapartida, as resinas de silorano apresentaram menores valores de resistência à compressão e microdureza. Os autores apontaram que são necessários novos estudos com relação propriedades físicas e mecânicas das resinas que possuem esse novo monômero em sua composição.

Marghalani (2010) avaliou o efeito da polimerização tardia de resinas compostas com diversas matrizes orgânicas nos valores de microdureza Vickers. Foram preparados 64 espécimes de resina polimerizados com Optilux 501 (500 mW/cm^2) por 40s. Os espécimes foram armazenados em ambiente escuro a 23 e 37 °C pelos seguintes períodos: imediato, 30 minutos, 1, 6, 12, 24, 48 e 168 horas. Os valores de microdureza Vickers foram obtidos usando-se 300g de carga por 15s. Os resultados mostraram que as resinas Filtek P90 e Definite obtiveram maiores valores de dureza, seguidas pela Tetric Evoceram e depois pela Premise Enamel. A cada intervalo de tempo, todos os materiais demonstraram diferenças significantes entre os valores de dureza das superfícies de topo e de base, independente da temperatura de armazenamento das amostras. As resinas compostas à base de silorano alcançaram valores de microdureza Vickers superiores aos obtidos com as resinas de metacrilato.

3 OBJETIVOS

- a) Analisar a microdureza superficial de resinas compostas com matrizes orgânicas à base de metacrilato ou silorano;
- b) Avaliar e comparar a microdureza superficial das resinas compostas em diferentes profundidades de polimerização (0, 2 e 4 mm);
- c) Relacionar as fontes emissoras de luz halógena e LED com a microdureza superficial Vickers das resinas compostas estudadas.

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Materiais

Para a realização deste trabalho foram utilizadas as resinas compostas Filtek™ P90 (3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA) e Filtek™ Z250 (3M/ESPE, St. Paul, MN, EUA). A composição química dessas resinas pode ser observada na Figura 1.

RESINA	FASE ORGÂNICA	FASE INORGÂNICA	FOTOINICIADOR
Filtek™ P90	Silorano	Partículas de quartzo e fluoreto de ítrio, com tamanho médio de partícula de 0,04 a 1,7µm 76% peso 55% volume	Canforoquinona
Filtek™ Z250	BisGMA, UDMA, BisEMA, TEGDMA	Partículas de sílica e zircônia, com tamanho médio de partícula de 0,01 a 3,5µm 78% peso 60% volume	Canforoquinona

Figura 1 – Quadro comparativo mostrando a composição química das resinas compostas utilizadas no estudo.

Devido à discordância com relação à interferência da cor dos compósitos nos valores de dureza, optou-se por avaliar sempre a mesma cor das resinas composta. Sendo assim, a cor A3 foi selecionada.

Para a fotoativação das resinas compostas, foram utilizados o aparelho de luz halógena Optilux 401 (Demetron, Kerr Corp. Danbury, CT, EUA) e o aparelho LED Radium (SDI, Bayswater, Victoria, Australia).

4.2 Método

4.2.1 Aferição da intensidade de luz dos aparelhos fotopolimerizadores

Antes da realização do experimento foi realizada a aferição da intensidade de luz emitida pelos aparelhos fotopolimerizadores através de um radiômetro (*Curing Radiometer Model 100* - Demetron Research Corporation, EUA). Essa medição foi realizada posicionando a ponta ativa do cabo condutor de luz sobre a superfície fotossensível do radiômetro.

Verificou-se a intensidade de luz de aproximadamente $600\text{mW}/\text{cm}^2$ para o aparelho Optilux 401 e de cerca de $1000\text{ mW}/\text{cm}^2$ para o aparelho Radii.

4.2.2 Confeção dos corpos-de-prova

Para esse estudo, foram criados 12 grupos experimentais, que estão apresentados na Figura 2.

GRUPO	RESINA	LUZ	PROFUNDIDADE
1Aa	Filtek™ P90	Halógena	0 mm
1Ab	Filtek™ P90	Halógena	2 mm
1Ac	Filtek™ P90	Halógena	4 mm
1Ba	Filtek™ P90	LED	0 mm
1Bb	Filtek™ P90	LED	2 mm
1Bc	Filtek™ P90	LED	4 mm
2Aa	Filtek™ Z250	Halógena	0 mm
2Ab	Filtek™ Z250	Halógena	2 mm
2Ac	Filtek™ Z250	Halógena	4 mm
2Ba	Filtek™ Z250	LED	0 mm
2Bb	Filtek™ Z250	LED	2 mm
2Bc	Filtek™ Z250	LED	4 mm

Figura 2 – Quadro relativo aos grupos experimentais investigados no estudo.

Para cada grupo experimental, foram confeccionados 10 corpos-de-prova. Os mesmos foram obtidos utilizando-se matrizes de silicona, contendo uma cavidade interna de 2 ou 4mm de profundidade e 5mm de diâmetro apoiadas em uma placa de vidro em contato com uma tira de poliéster. A região central da matriz foi preenchida com cada uma das resinas compostas, de acordo com o grupo de cada corpo-de-prova, em incremento único, com o

auxílio de uma espátula metálica *Hu-Friedy* (Chicago, Illinois, EUA). Acima do incremento foi inserida uma segunda tira de poliéster e, sobre essa, outra placa de vidro. Foi realizada leve pressão manual sobre a placa com a finalidade de escoar o excesso de resina e obter um paralelismo entre ambas as superfícies sendo, após, a placa de vidro superior removida. A fotoativação das resinas foi realizada diretamente e com estabilização manual sobre a matriz com o aparelho de luz halógena Optilux 401 ou com o LED Radii, por 40s (Figura 3).

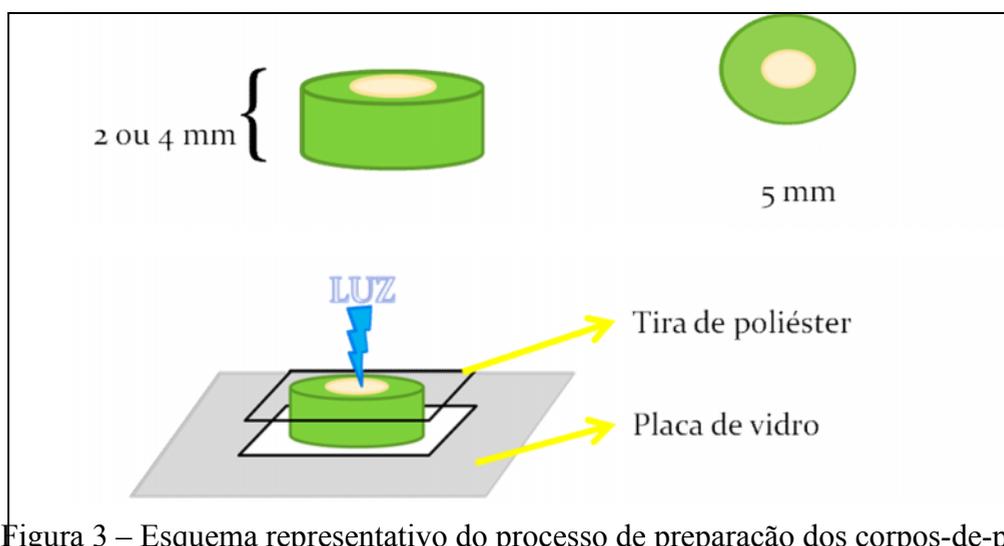


Figura 3 – Esquema representativo do processo de preparação dos corpos-de-prova.

Para a realização do teste de microdureza, os corpos-de-prova foram incluídos com resina acrílica quimicamente ativada em tubos de PVC com 5 cm de diâmetro e 1 cm de altura. Após a polimerização da resina acrílica, realizou-se o acabamento manual com lixas d'água com granulação de 400, 600 e 1000 (3M, Sumaré, São Paulo, Brasil), umedecidas com água. Para tanto, as lixas foram abertas sobre uma bancada e foram realizados movimentos circulares. Em seguida, foi realizado o polimento com feltro e pasta diamantada. Esses procedimentos foram executados a fim de remover a camada superficial rica em matriz orgânica, expondo as partículas de carga e corrigir as imperfeições deixadas durante a inclusão da resina. Cada corpo-de-prova foi devidamente identificado, evidenciando a superfície em que deveria ser realizado o teste (Figura 4).

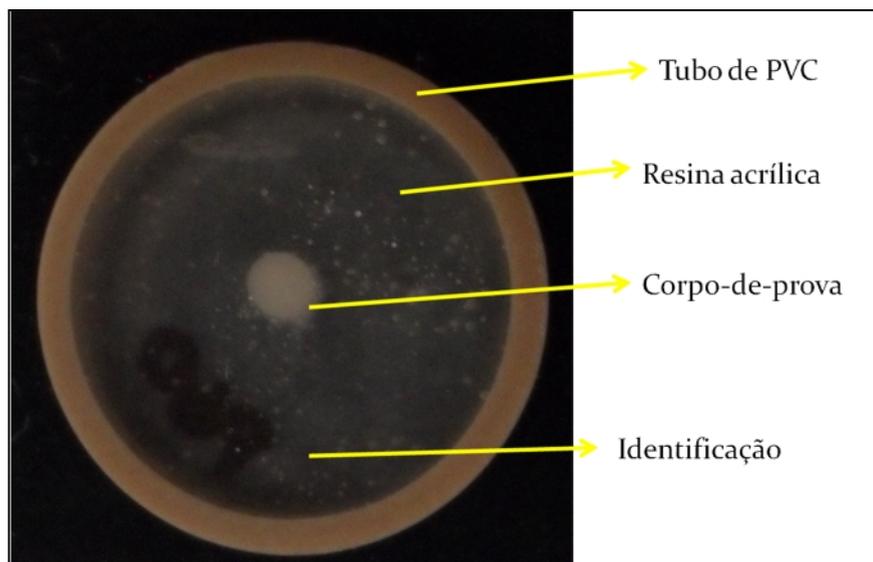


Figura 4 – Corpo-de-prova preparado para o teste de microdureza.

Os corpos-de-prova foram armazenados durante 24 horas, em temperatura ambiente, em tubos de filme fotográfico pretos, de modo que não sofressem a incidência da luz. O período de armazenamento teve como finalidade permitir a liberação das tensões provocadas durante processo de polimerização das resinas composta.

4.2.3 Análise da microdureza

Os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de microdureza através de um microdurômetro HMV-2000 Shimadzu Microhardness Tester (Shimadzu, Tóquio, Japão) e um penetrador tipo Vickers. O diamante perfurador do aparelho possui forma quadrada e base piramidal formando indentações na superfície do material. Foi utilizada uma carga estática de 200 gf e tempo de penetração de 10s. O teste de microdureza utilizado foi o convencional, que mede a diagonal da marca deixada pelo indentador após a remoção da carga. As Figuras 5 e 6 ilustram as mossa representativas de cada resina estudada obtidas durante o experimento.

Foram realizadas três medições em cada superfície, obedecendo a distância mínima de 3mm entre as marcações, de modo que não ocorresse sobreposição das indentações ou influência da zona de deformação plástica. As medidas de microdureza foram obtidas em unidades VHN (*Vickers Hardness Number*). Em seguida, foram calculadas as médias de microdureza de cada superfície para a realização dos testes estatísticos.

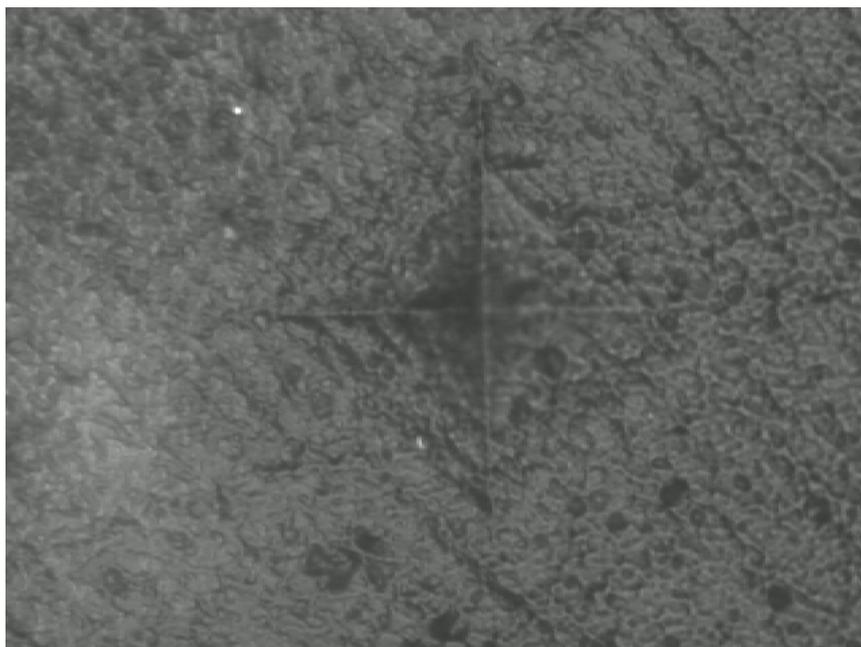


Figura 5 – Indentação em um corpo-de-prova do grupo 1 (Filtek P90).

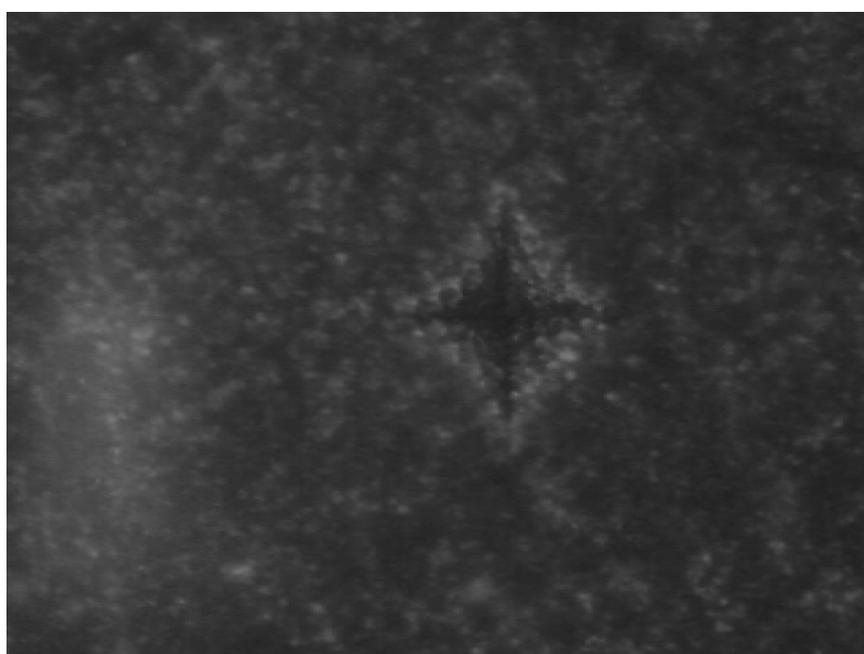


Figura 6 – Indentação em um corpo-de-prova do grupo 2 (Filtek PZ250).

5 Resultados

A Tabela 1 apresenta a média e desvio-padrão dos resultados obtidos para microdureza dos corpos-de-prova em função do tipo de resina, profundidade de polimerização e fonte luminosa. Os resultados completos podem ser encontrados no Apêndice.

Tabela 1 – Média e desvio-padrão (entre parênteses) dos resultados obtidos para microdureza dos corpos-de-prova em função do tipo de resina, profundidade de polimerização e fonte de luz, Campo Grande, 2010.

Tipo de fonte de luz	Resinas	Profundidade de polimerização (mm)		
		0	2	4
Halógena	P90	61,80 (\pm 4,59)	53,22 (\pm 2,95)	46,42 (\pm 2,04)
	Z250	86,02 (\pm 3,28)	80,14 (\pm 3,60)	71,85 (\pm 2,60)
LED	P90	76,65 (\pm 6,74)	55,74 (\pm 3,85)	46,22 (\pm 2,80)
	Z250	90,86 (\pm 2,45)	85,04 (\pm 2,02)	76,20 (\pm 2,29)

A análise estatística (*two-way* ANOVA complementado por pós-teste de Bonferroni) mostra uma microdureza significativamente maior obtida com a resina Z250 em comparação à P90 ($P < 0,001$), não importando a profundidade de polimerização ou o tipo de fonte de luz utilizada.

Com relação à fonte luminosa, as amostras fotopolimerizadas com LED apresentaram-se, em geral, com microdureza superior às amostras submetidas à luz halógena ($P < 0,001$). Exceção feita à resina P90, que apresentou valores semelhantes de microdureza ($P > 0,05$) independentemente da fonte luminosa utilizada nas profundidades de 2 e 4 mm.

A profundidade de fotopolimerização também foi determinante na microdureza nas superfícies dos corpos-de-prova, sendo que os resultados apresentaram uma correlação inversa, i. e., quanto maior a profundidade, menor a microdureza ($P < 0,001$). Os maiores valores de microdureza foram encontrados na superfície das resinas, com decréscimo dos mesmos conforme aumentava a profundidade de polimerização.

A Figura 7 ilustra, de forma gráfica, os resultados obtidos no experimento.

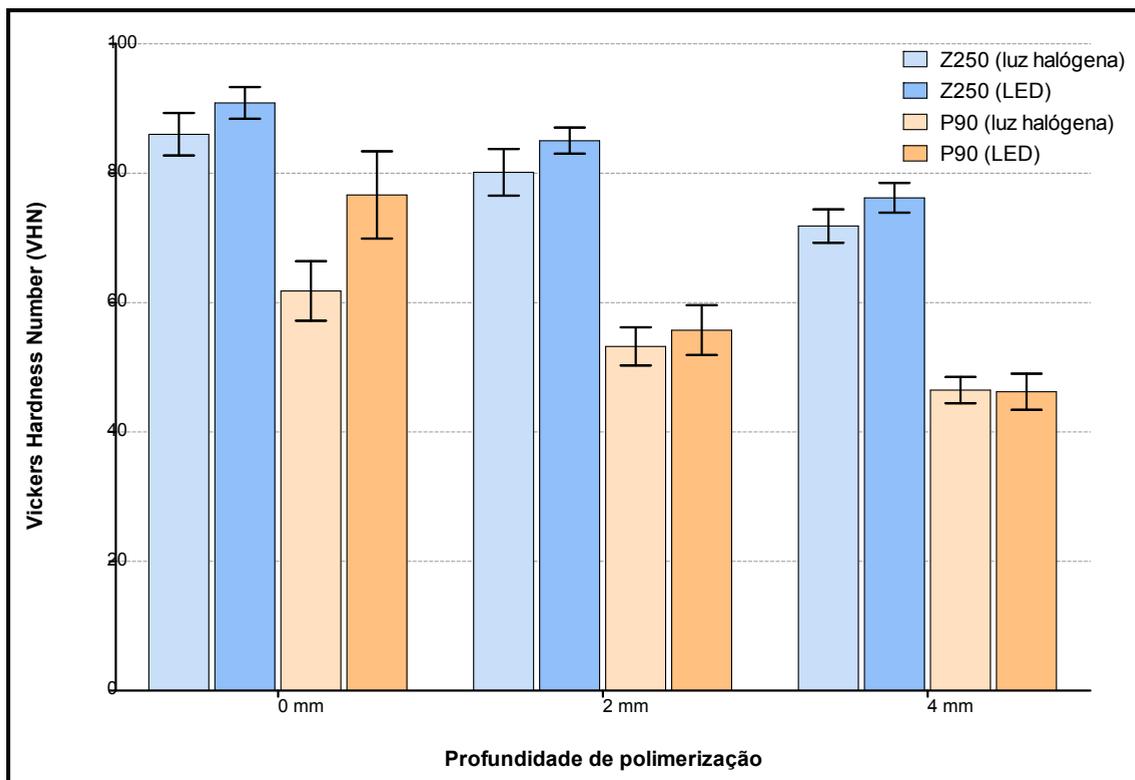


Figura 7 – Gráfico ilustrando média e desvio-padrão (barra de erros) dos resultados obtidos para microdureza dos corpos-de-prova em função do tipo de resina, profundidade de polimerização e fonte de luz.

Tomando como valor de referência a microdureza superficial das amostras, foi calculada, em porcentagem, a alteração nestes valores conforme a profundidade, sendo os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de microdureza conforme a profundidade de polimerização, em percentual da microdureza inicial, Campo Grande, 2010.

Tipo de fonte de luz	Resinas	Profundidade de polimerização (mm)		
		0	2	4
Halógena	P90	100%	86,12%	75,11%
	Z250	100%	93,16%	83,53%
LED	P90	100%	72,72%	60,30%
	Z250	100%	93,59%	83,87%

6 DISCUSSÃO

As exigências estéticas aliadas à necessidade de preservação das estruturas dentárias fizeram com que as resinas compostas fotopolimerizáveis tivessem destaque desde que foram introduzidas na Odontologia na década de 60. Nos últimos anos, muitos aperfeiçoamentos foram obtidos, incluindo a utilização de variados tamanhos e composições das partículas de carga, a obtenção de novos tons para uma estética mais adequada, o desenvolvimento de novos compostos para compor a base orgânica, possibilitando uma menor contração de polimerização e boas características mecânicas e de manuseio, entre outros.

Essas melhorias nas propriedades mecânicas, bem como nos aparelhos fotopolimerizadores, permitiram a utilização das resinas tanto em dentes anteriores como em posteriores com maior confiabilidade. Entretanto, sabe-se que o sucesso das restaurações estéticas depende de vários fatores, como o grau e a profundidade de polimerização, o tipo de aparelho utilizado, sua intensidade de luz e também as propriedades do material a ser fotoativado. A fim de se alcançar as expectativas de longevidade e bom desempenho clínico das resinas compostas, diversos estudos têm sido realizados para tentar elucidar os fatores que interferem diretamente nas propriedades das resinas com a intenção de reduzir a interferência negativa no sucesso das restaurações

Mesmo que a maioria das limitações inerentes ao material tenha sido minimizada, Asmussen; Peutzfeldt (2003) e Yap *et al.* (2004) afirmam que a conversão dos monômeros nas resinas compostas nunca é completa, mesmo com uma correta ativação, e após a polimerização podem ainda ser encontrados monômeros residuais e ligações duplas de carbono remanescentes. A consequência disso é a diminuição das propriedades físicas (DUNN; BUSH, 2002; KRÄMER *et al.*, 2008; AGUIAR *et al.*, 2009), o que pode acarretar em menor resistência da restauração e causar efeitos citotóxicos ao tecido pulpar (KAWAGUCHI *et al.*, 1994; ALPÖZ *et al.*, 2008; GIORGI; PAULILLO, 2009). Esse efeito citotóxico é atribuído aos monômeros não convertidos que são liberados da matriz polimerizada. Quanto maior a conversão do monômero, melhores as propriedades mecânicas, a resistência ao desgaste e outras propriedades essenciais para o seu desempenho (RESTON *et al.*, 2008). Autores como: Stahl *et al.* (2000), Bala *et al.* (2005) e Firoozmand *et al.* (2005) manifestaram-se concordantes com relação a insuficiente polimerização das resinas compostas fotoativadas ser frequentemente citada entre as principais causas de insucesso clínico das restaurações realizadas com esse material.

A efetividade da polimerização da resina composta e o potencial de polimerização dos aparelhos fotopolimerizadores podem ser verificados direta ou indiretamente (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003). Os métodos diretos de detecção do grau de conversão são estabelecidos por espectroscopia de infravermelho (FTIR – Fourier Transform Infrared Spectrometer) e espectroscopia de laser (laser Raman), os quais determinam quimicamente a quantidade de conversão (BRAGA; FERRACANE, 2002). Esses métodos são bastante sensíveis para avaliar a profundidade e o grau de polimerização do material; entretanto, os equipamentos usados nesses testes são complexos, onerosos e consomem maior tempo na consecução da análise. Por outro lado, os métodos indiretos são visuais e compreendem a metodologia por raspagem e testes de dureza (FAN *et al.*, 2002). Apesar de ser um teste simples, o método de raspagem não indica a qualidade da polimerização e sobre-estima os valores de profundidade, quando comparados aos testes de dureza e os de grau de conversão (YOON *et al.*, 2002).

O estudo das propriedades mecânicas implica no exame das relações entre um corpo, constituído de determinado material e as forças que atuam sobre o mesmo, assim como as consequências dessas relações. Qualquer material é constituído de átomos e estes apresentam forças internas que se opõem à ação de uma força externa, denominada tensão. Quando a força externa consegue alterar a distância entre os átomos ocorre a deformação permanente (LOPEZ, 1993). A dureza é então uma propriedade mecânica definida como a mensuração da resistência à deformação permanente (MARGHALANI, 2010).

Embora não seja uma propriedade fundamental, a dureza pode ser considerada como efeito resultante de diversas propriedades de um material, podendo funcionar como indicador adequado do grau de conversão ou polimerização das resinas compostas, sendo o teste mais utilizado para essa finalidade (RAHIOTIS *et al.*, 2004; RODE *et al.*, 2007; CEBALLOS *et al.*, 2009; GIORGI, PAULILLO *et al.*, 2009). Rode *et al.* (2009) acrescentam ainda que o conhecimento das propriedades físicas dos materiais restauradores é de fundamental importância para o entendimento de seu comportamento mecânico em condições clínicas, sendo a dureza uma das propriedades mais importantes, já que pode servir de indicativo de resistência ao uso dos materiais, que pode comprometer a resistência à fadiga e levar à falha prematura. Existem muitos ensaios para se medir a dureza superficial, sendo que os mais utilizados em Odontologia são os de macrodureza Brinell e Rockwell e de microdureza Vickers e Knoop (ANUSAVICE, 1998).

Os testes de microdureza são de grande aplicabilidade, sendo a escolha entre Knoop e Vickers normalmente arbitrária, já que dentro das indicações, tanto o Vickers como o Knoop

realizam a medição de microdureza com cargas inferiores a 9,8N, com utilização tanto para materiais dúcteis quanto para materiais de alta dureza (ANUSAVICE, 1998; RODE *et al.*, 2009). Como as resinas compostas apresentam na sua composição partículas de tamanhos e quantidades irregulares, Lopes (1993) considerou o indentador Vickers mais adequado devido sua estabilidade e por isso foi eleito para medir a dureza superficial desta pesquisa. O teste de microdureza utilizado foi o convencional, que mede a diagonal da marca deixada pelo indentador após a remoção da carga, ou seja, o valor da microdureza é mensurado pelo grau de deformação permanente produzido na superfície do material ensaiado pela força (carga) transmitida pelo indentador.

Quando avaliamos as resinas compostas, alguns trabalhos mostram haver influência da cor da resina composta na dureza do compósito (MARTINS *et al.*, 2002; FAN *et al.*, 2002; BRISO *et al.*, 2006; FIROOZMANDI *et al.*, 2009). Apesar de alguns afirmarem que a cor não foi fator determinante na dureza (STAHL *et al.*, 2000; MARTINS *et al.*, 2002), optou-se por avaliar sempre a mesma cor e com isso evitar influências nos valores de microdureza. Sendo assim, a cor A3 foi selecionada.

Outros fatores que podem influenciar o grau de conversão destes compósitos e desse modo influenciar as propriedades mecânicas são a composição matriz polimérica, o fotoiniciador e o tipo e tamanho das partículas de carga (RASTELLI *et al.*, 2006; CEBALLOS *et al.*, 2009; GIORGI; PAULILLO, 2009; MARGHALANI, 2010). Neste estudo foram utilizadas resinas com dois diferentes tipos de matriz orgânica e diferentes concentrações de partículas de carga.

A Filtek P90 é uma resina composta microhíbrida de uso exclusivo em dentes posteriores. Sua matriz orgânica é baseada na química do silorano e não contém monômeros metacrilatos. A matriz inorgânica é composta de partículas de quartzo e fluoreto de ítrio, com os tamanhos variáveis de 0,04 a 1,7 μ m. A quantidade de partículas de carga corresponde a 55% em volume e 76% em peso (WEINMANN *et al.*, 2005; YESILYURT *et al.*, 2009; LIEN; VANDEWALLE, 2010).

O compósito restaurador Filtek Z250 é uma resina fotopolimerizável microhíbrida, desenvolvida para uso em restaurações anteriores e posteriores. A carga inorgânica é formada por partículas de zircônia e sílica com tamanhos de partícula variáveis entre 0,01 e 3,5 μ m. A quantidade de partículas de carga corresponde a 60% em volume e 78% em peso. A matriz orgânica dessa resina é composta pelos monômeros Bis-GMA, UDMA e Bis-EMA (YESILYURT *et al.*, 2009; LIEN; VANDEWALLE, 2010).

No presente estudo, a resina Z250 apresentou os maiores valores de microdureza Vickers, independente da fonte de luz utilizada e da profundidade avaliada. Uma justificativa para os menores valores de dureza da resina Filtek P90 seria o seu processo de polimerização. O fato de as resinas compostas que contém siloranos apresentarem pouca ou nenhuma ligação cruzada faz com que elas se tornem mais friáveis (WEINMANN *et al.*, 2005; LIEN; VANDEWALLE, 2010), diferentes daqueles materiais que apresentam elevado grau de conversão em ligações cruzadas; por isso, apresentam maior dureza, resistência a flexão e ao calor (SOH; YAP, 2004).

Uma correlação positiva também pode ser estabelecida entre dureza e conteúdo de carga inorgânica das resinas compostas tendo em vista que a dureza é variável dependendo do tipo, tamanho e morfologia da partícula de carga, assim como seu volume e distribuição no monômero (BRISO *et al.*, 2006; SCOUGALL-VILCHIS *et al.*, 2009; LIEN; VANDEWALLE, 2010; MARGHALANI, 2010). Esse fato justifica os maiores valores de dureza da resina Z250, que possui maiores concentrações de carga em volume e peso que a resina P90. Com os resultados obtidos foi possível observar que as partículas de carga são um fator importante para a melhora das propriedades mecânicas desses materiais (CEBALLOS *et al.*, 2009; MARGHALANI, 2010).

Yesilyurt *et al.* (2009) e Lien; Vandewalle (2010) também encontraram menores valores de microdureza das resinas à base de silorano, quando comparadas a resinas de metacrilato. Ilie; Hickel (2009) compararam a resina Filtek P90 com diversos compósitos e os resultados mostraram maiores valores de dureza para as resinas de metacrilato quando o teste foi realizado logo após o preparo das amostras. Após estocagem em álcool por 4 semanas, a resina de silorano apresentou melhor estabilidade nos valores de dureza. Ilie; Hickel (2006) apontaram valores semelhantes de dureza entre a resina experimental de silorano Hermes (3M/ESPE) e a resina Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent); entretanto, se comparada à Filtek Supreme (3M/ESPE), a resina à base de silorano apresentou valores claramente inferiores de dureza. Marghalani (2010) também encontraram menores valores de dureza para a resina à base de metacrilato Tetric EvoCeram quando comparada a resina à base de silorano Filtek P90.

Com relação às fontes de luz, a seleção de unidades fotoativadoras de diferentes tecnologias (lâmpada halógena e LED) teve por finalidade observar a possível interferência na polimerização dos compósitos. Foi na década de 80 que surgiram os primeiros aparelhos que emitiam luz visível por meio de lâmpadas halógenas, e assim, foram denominados de fotopolimerizadores. Basicamente o clínico possui 4 tipos diferentes de tecnologia para a

fotopolimerização de resinas compostas, que utilizam lâmpadas halógenas, lâmpadas de arco de plasma de xenônio, laser de íon Argônio e o LED (BRISO *et al.*, 2006; KRÄMER *et al.*, 2008).

Os fotopolimerizadores mais utilizados nas clínicas odontológicas produzem a luz por meio de lâmpadas halógenas, por um fluxo de corrente elétrica através do filamento de tungstênio que após ter sido intensamente aquecido emite radiações eletromagnéticas sob a forma de luz visível (YOON *et al.*, 2002; WIGGINGS *et al.*, 2004; KRÄMER *et al.*, 2008). Tais filamentos são aquecidos a temperaturas extremas e a maior parte da energia luminosa produzida é de feixes infravermelhos (95%), sendo necessário para esse tipo de tecnologia um filtro para que somente a luz azul no espectro desejado seja emitida (de 390 a 520 nm) (DUNN; BUSH, 2002; WIGGINGS *et al.*, 2004; CEBALLOS *et al.*, 2009). A grande desvantagem desse tipo de unidade polimerizadora é exatamente a necessidade do esfriamento da lâmpada através de uma corrente de resfriamento de ar que entra e sai pelas fendas presentes (DUNN; BUSH, 2002; KRÄMER *et al.*, 2008; CEBALLOS *et al.*, 2009). Além disso, o tempo de vida útil das lâmpadas halógenas é limitado entre 40 e 100 horas de uso contínuo (DUNN; BUSH, 2002; YOON *et al.*, 2002; SOH; YAP, 2004). Outro ponto negativo advém do calor dissipado pela lâmpada gerando temperaturas elevadas que causam degradação progressiva dos filtros, lâmpadas, sistemas condutores e perda de reflexão, conduzindo invariavelmente, a uma queda na intensidade de luz emitida ao longo do tempo. Esse aquecimento pode levar a um aumento da temperatura pulpar (WINGGINS *et al.*, 2004; BALA *et al.*, 2005). A lâmpada de quartzo tungstênio halógena tem sido a fonte mais utilizada nos últimos anos (DUNN; BUSH, 2002).

O sistema de emissão de luz LED é a tecnologia mais recente de polimerização de resinas compostas e foi introduzido no mercado odontológico como uma tecnologia revolucionária (KRÄMER *et al.*, 2008, CEBALLOS *et al.*, 2009). Os LEDs azuis utilizados em fotoativação consistem em dois materiais semicondutores à base de nitreto de gálio, apresentando em seu substrato uma região rica em elétrons e outra rica em lacunas receptoras de elétrons. Quando essas áreas são submetidas à corrente elétrica, ocorre movimentação dos elétrons entre essas regiões. A colisão entre a lacuna e o elétron resulta na emissão de um fóton em espectro de luz estreito (BALA *et al.*, 2005; GANIME *et al.*, 2008). Toda a luz produzida está concentrada no comprimento de onda azul, o que leva a uma maior possibilidade de excitação da canforoquinona, utilizando menor densidade de energia. Em um comprimento de onda específico entre 450 e 470 nm, a quantidade de luz emitida pelos LEDs

pode atingir o dobro em relação à luz filtrada e emitida por uma unidade polimerizadora halógena. Dessa maneira, esses aparelhos não necessitam de filtros para alcançar o pico de absorção da canforoquinona. (DUNN; BUSH, 2002; CEFALY *et al.*, 2005; KRÄMER *et al.*, 2008). Grandes vantagens são evidenciadas na literatura, como o menor consumo de energia se comparados às lâmpadas halógenas, uma vida útil extensa sem perda significativa de intensidade, eficiência de polimerização, a não degradação dos componentes e a prevenção de superaquecimento (YOON *et al.*, 2002; BALA *et al.*, 2005).

Alguns autores já consideram os LEDs como aparelhos eficientes para ativação de resinas compostas (KRÄMER *et al.*, 2008). D'Alpino e Svizero, em 2006, realizaram uma revisão de literatura em que classificou os LEDs em três gerações. A primeira geração apresentava baixa densidade de potência (ou intensidade de luz), inferior a 200 mW/cm^2 , mas com espectro de radiação mais estreito em relação ao espectro da luz halógena e coincidente com a absorvância da canforoquinona. Entretanto, essa característica não era suficiente para promover uma polimerização satisfatória (RASTELLI *et al.*, 2006; GODOY *et al.*, 2007; RESTON *et al.*, 2008). A segunda geração emitia luz em maior intensidade, comparável à densidade de potência dos aparelhos com lâmpada halógena de alta intensidade ($>1000 \text{ mW/cm}^2$) (CEBALLOS *et al.*, 2009). O problema dos primeiros aparelhos de LED (primeira e segunda gerações) é que eles apresentavam incapacidade de ativação de materiais resinosos com fotoiniciadores diferentes da canforoquinona. Para solucionar esse problema, procurou-se ampliar o espectro de luz emitido, sendo desenvolvidos os aparelhos LED de terceira geração. (RASTELLI *et al.*, 2006; GODOY *et al.*, 2007; GANIME *et al.*, 2008) Esses aparelhos emitem luz azul e luz no comprimento de onda na cor violeta (em torno de 400nm), com uma potência elevada, cerca de 1200 mW/cm^2 , tornando a polimerização das resinas compostas eficiente (BALA *et al.*, 2005; GANIME *et al.*, 2008). Um problema que pode ter sido gerado com a evolução desses aparelhos é a geração de calor, causada pelo efeito fotodinâmico. Os LEDs foram lançados com o principal objetivo de emitirem luz fria, mas quando apresentam alta intensidade de luz, também produzem uma alta elevação de temperatura, perdendo a vantagem de não emitirem calor (GODOY *et al.*, 2007; KRÄMER *et al.*, 2008).

Atualmente, muito tem sido discutido sobre a influência exercida pelos diversos tipos de aparelhos fotopolimerizadores nas propriedades das resinas compostas, bem como, suas consequências clínicas (PRICE *et al.* 2002). Um alto grau de polimerização do compósito é essencial para o sucesso da restauração. Desta forma, a quantidade de energia luminosa é elemento principal para o grau de conversão do compósito fotoativado, interferindo de forma

direta nas suas propriedades físicas (RUEGGEBERG, 1999). Quanto maior a intensidade da energia luminosa (quantum) usada no processo de fotoativação, mais fótons irão reagir com as moléculas de canforoquinona dentro da matriz resinosa do compósito, aumentando assim o grau de conversão, isto é, a quantidade de monômeros convertidos em polímeros. Uma relação direta entre taxa de conversão de monômeros e dureza de superfície é evidenciada na literatura.

No presente estudo, a unidade de lâmpada halógena selecionada foi o Optilux401, uma fonte de luz convencional à base de lâmpada halógena com intensidade de luz de cerca de 600mW/cm^2 e espectro de emissão de 400 à 525nm, enquanto que a unidade do tipo LED selecionada foi o Radii, um LED de segunda geração com intensidade de luz de cerca de 1000mW/cm^2 e espectro de emissão de 440 à 480 nm. Os valores de microdureza obtidos foram superiores quando o aparelho LED foi utilizado para polimerização de ambas as resinas compostas, em comparação aos valores do aparelho de luz halógena. As diferenças foram significativas em ambas as resinas e em todas as profundidades analisadas, exceto nas profundidades de 2 e 4mm quando a resina P90 foi utilizada, em que a diferença de valores obtidos com a polimerização por LED ou luz halógena não foram estatisticamente significantes.

Está perfeitamente evidente na literatura, que a reação de polimerização das resinas compostas depende diretamente da fotossensibilização do componente denominado fotoiniciador. Como a caforoquinona está presente na composição das duas resinas usadas nesse experimento, o melhor desempenho do LED pode ter explicação na pureza espectral que ele apresenta, quase coincidindo com o pico máximo de absorção desse fotoiniciador. Sua maior intensidade de luz também pode ter sido determinante para esse resultado (RASTELLI *et al.*, 2006). Outra justificativa seria o fato de o LED Radii não possuir a tradicional fibra guia, permitindo o contato quase que direto do emissor de luz com o material a ser curado, proporcionando uma maior uniformidade de iluminação, já que esse emissor emite luz igualmente em todas as direções (RASTELLI *et al.*, 2006).

Observa-se na literatura uma grande divergência com relação à influência da fonte de luz halógena ou LED na microdureza de resinas compostas. Autores como Obici *et al.* (2004), Tsai *et al.* (2004), Cefaly *et al.* (2005), Firoozmand, *et al.* (2009) e Rode *et al.* (2009) encontraram em seus estudos valores superiores de microdureza das resinas quando polimerizadas por luz halógena. Outros autores não encontraram diferenças significativas entre luz halógena e LED (HUBBEZOGLU *et al.*, 2007; ALPÖZ *et al.*, 2008; AGUIAR *et al.*, 2009; RESTON *et al.* 2008). Maiores valores de microdureza com a utilização de LED foram

obtidos nos trabalhos de Briso *et al.* (2006), Rastelli *et al.* (2006), Ganime *et al.* (2008) e Cebalos *et al.* (2009). Essa divergência pode ser justificada pelos diversos tempos de exposição, espessuras de incremento e tipos de aparelhos fotopolimerizadores, com diferentes intensidades de luz, utilizados em cada trabalhos.

Além do tipo de fonte de luz, a polimerização dos compósitos é afetada pelas características inerentes de cada material (RASTELLI *et al.*, 2006; ALPÖZ *et al.*, 2008; SCOUGALL-VILCHIS *et al.*, 2009). Emami *et al.* (2005) apontaram diferenças significativas nas características de absorção de diferentes materiais. Os autores apontam como causa das diferenças nos valores de absorção as propriedades das partículas de carga, como o índice de refração, a densidade e o tamanho das partículas, assim como sua relação com a matriz orgânica. Esse fato pode ser observado nesse estudo, já que as duas resinas apresentaram comportamentos diferentes. A resina P90 apresentou valores de dureza da superfície de topo (0mm) superiores quando o LED foi utilizado, em comparação aos obtidos pela luz halógena. Entretanto, esses valores diminuíram nas profundidades de 2 e 4mm, não podendo mais ser observadas diferenças significantes entre os valores de luz halógena e LED, apesar de sua maior intensidade de luz, mostrando uma menor transmitância da luz através esse compósito.

A dureza superficial obtida pelos compósitos tem relação direta com a intensidade de luz, mas outro fator que deve ser considerado é a profundidade de polimerização. A quantidade de fótons que atinge a superfície de topo do compósito não é a mesma da que chega até a superfície de fundo. O compósito tem a propriedade de dispersar a luz do aparelho de fotoativação, pois quando a luz passa através dele, a sua intensidade é reduzida devido às propriedades de absorção e difusão de energia pelas partículas de carga e pela matriz resinosa (YOON *et al.*, 2002; YAP *et al.*, 2004). Por tal motivo, o teste de microdureza foi empregado não somente na superfície de topo do material (0mm), mas também em diferentes profundidades (2 e 4 mm), para analisar as áreas mais distante da fonte de luz.

Analisando os resultados foi possível observar que, independente do tipo de fonte de luz utilizada e do tipo de resina composta, ocorre uma redução nos valores de dureza com o aumento progressivo da profundidade do material analisado. Vários autores manifestaram a mesma opinião sobre a dureza ser inversamente proporcional à profundidade de polimerização e sobre os materiais que se encontram mais próximos à fonte de luz apresentarem dureza superior quando comparados àqueles mais distantes (TSAI *et al.*, 2004; RODE *et al.*, 2005; RASTELLI *et al.*, 2006; AGUIAR *et al.*, 2009; FIROOZMAND *et al.*, 2009; GIORGI; PAULILLO *et al.*, 2009 MARGHALANI, 2010) . Rahiotis *et al.* (2004) e Rode *et al.* (2009) manifestaram-se discordantes desses resultados, relatando que não houve

diferença nos valores de dureza até uma profundidade de 4mm, tendo estes começado a diminuir com profundidade maior que 4mm. Em Ceballos *et al.* (2009), os valores de dureza começaram a ter diferenças estatisticamente significantes a partir de 2,5mm.

Os maiores valores de dureza encontrados na região superficial (0mm) podem ser explicados pelo fato da energia luminosa excitar facilmente essa superfície, pois esta se mostra suficiente para alcançar e ativar o fotoiniciador, iniciando o processo de polimerização, uma vez que há um mínimo de atenuação da luz. A exposição contínua à luz mantém a ativação das moléculas de canforoquinona próximas à superfície, levando-as a um estado energético que favorece o desencadeamento da reação de polimerização (RUEGGEBERG, 1999).

Como confirmado pelos resultados do presente estudo, a polimerização dos compósitos não é uniforme da superfície mais próxima à fonte de luz fotoativadora (0mm) em direção à profundidade do material (2 e 4mm). Isto ocorre porque, durante a fotoativação, a quantidade de energia luminosa disponível para excitar as moléculas do fotoiniciador diminui devido à absorção e espalhamento dessa energia pelas partículas de carga e pela matriz orgânica do compósito diminuindo, assim, a efetividade de polimerização (RUEGGEBERG, 1999; RAHIOTIS *et al.*, 2004; TSAI *et al.*, 2004; MARGHALANI, 2010).

A quantidade de energia também pode determinar a estrutura de polímero formado. Desse modo, a atenuação da energia luminosa nas camadas mais profundas resulta em uma menor quantidade de moléculas de canforoquinona excitadas (RUEGGEBERG, 1999) e a polimerização ocorrerá em uma menor velocidade, o que pode levar à formação de cadeias poliméricas mais extensas e lineares, relativamente poucos centros de crescimento são formados (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003; SOH; YAP, 2004; KRÄMER *et al.*, 2008). Isso torna o polímero mais suscetível à plastificação (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003; SOH; YAP, 2004) e, conseqüentemente, menores valores de dureza são encontrados na base da resina composta. O mesmo grau de conversão pode ser encontrado nas regiões superficial e profunda do compósito (YAP *et al.*, 2004), mas a qualidade da rede polimérica parece ser um fator essencial para a obtenção de melhores propriedades do material (SOH; YAP, 2004). A influência do grau de polimerização na formação da rede polimérica dos siloranos e a maneira como isso afetará a dureza superficial ainda são desconhecidas (LIEN; VANDEWALLE, 2010).

Leonard *et al.* (2001) consideram que para que a polimerização das regiões mais profundas seja considerada satisfatória, a média de valores de dureza dessas regiões devem alcançar o nível mínimo de 80% dos valores obtidos na região superficial. O cálculo dessa

porcentagem pode ser facilmente mal interpretado. Um espécime pode ter sido pobremente polimerizado, mas se os valores de dureza da região de base forem similares aos do topo, a média poderá exceder 80% (DUNN; BUSH, 2002). Esse fato pode ser observado nesse estudo quando a resina P90 foi avaliada. Ao avaliar os valores percentuais de dureza nas profundidades de 2 e 4mm (Tabela 2), tem-se a impressão de que a luz halógena promoveu melhor grau de polimerização em relação ao LED. Em contrapartida, avaliando-se as médias dos valores de dureza Vickers dessa resina (Tabela 1) percebe-se que LED e luz halógena tiveram resultados semelhantes nas profundidades de 2 e 4 mm, entretanto, na região de topo (0mm), os valores foram significativamente superiores quando o LED foi utilizado.

Apesar do teste de microdureza ser considerado por diversos autores como um indicador do grau de polimerização das resinas, Briso *et al.* (2006) afirmam que valores de microdureza e grau de conversão não devem ser comparados entre diferentes produtos comerciais, pois as ligações formadas pela matriz resinosa ou mesmo o tipo e a quantidade de partículas de carga e a qualidade de silanização podem levar a diferentes valores de dureza impossibilitando a comparação indireta do grau de polimerização de duas resinas diferentes.

Diante do exposto, a metodologia adotada na presente pesquisa possibilitou avaliar a microdureza da resina composta em função da variação da composição das resinas compostas, do tipo de fonte de luz e da espessura de material. Através da revisão de literatura e dos resultados obtidos, foi possível observar que diversos fatores interferem nas propriedades físicas das resinas compostas e, conseqüentemente, no seu desempenho clínico, mostrando a importância do conhecimento de cada material e aparelho utilizado nos procedimentos restauradores.

7 CONCLUSÕES

Baseado na metodologia, nos materiais utilizados e nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- d) A resina Filtek Z250 apresentou maiores valores de microdureza Vickers que a resina Filtek P90, independente da fonte de luz utilizada e da profundidade avaliada;
- e) Independente do tipo de fonte de luz utilizada e do tipo de resina composta, ocorreu uma redução nos valores de dureza com o aumento progressivo da profundidade de polimerização.
- f) As amostras fotopolimerizadas com LED apresentaram-se com microdureza superior às submetidas à luz halógena, exceção feita à resina P90, que apresentou valores semelhantes de microdureza nas profundidades de 2 e 4 mm.

REFERÊNCIAS¹

Aguiar FHB, Andrade KRM, Leite Lima DAN, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Influence of light curing and sample thickness on microhardness of a composite resin. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2009; 1:21-5.

Alpöz AR, Ertuğrulb F, Coguluc D, Akc AT, Tanoğlud M, Kaya E. Effects of light curing method and exposure time on mechanical properties of resin based dental materials. *Eur J Dent.* 2008; 2:37-42.

Anusavice J K. *Phillips: materiais dentários.* 10 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, p.412, 1998.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Light-emitting diode curing: Influence on selected properties of resin composites. *Quint Int.* 2003; 34(1):71-5.

Bala O, Ölmez A, Kalayci S. Effect of LED and halogen light curing on polymerization of resin-based composites. *J Oral Rehab.* 2005; 32(2):134-40.

Braga RR, Ferracane JL. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *J Dent Res* 2002; 81(2):114-8.

Briso ALF, Fedel TM, Pereira SM, Mauro SJ, Sundfeld RH, Sundefeld MLMM. Influence of light curing source on microhardness of composite resins of different shades. *J Appl Oral Sci.* 2006;14(1):10-5.

Ceballos L, Fuentes MV, Tafalla H, Martínez A, Flores J, Rodríguez J. Curing effectiveness of resin composites at different exposure times using LED and halogen units. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2009; 14(1):E51-6.

¹ Norma seguida: Estilo Vancouver (1979) adaptado.

Cefaly DFG, Ferrarezi GAO, Tapety CMC, Lauris JRP, Navarro MFL. Microhardness of resin-based materials polymerized with LED and halogen curing units. *Braz Dent J.* 2005; 16(2):98-102.

Correr Sobrinho L, Lima AA, Consani S, Sinhoreti MAC, Knowles JC. Influence of curing tip distance on composite Knoop Hardness Values. *Braz Dent J.* 2000;11(1):11-7.

D'Alpino PHP, Svizero NR. Fotoativação: estágio atual. LED - Classificação e características. *Rev Assoc Paul Cir Dent.* 2006; 60(5): 407-11.

Dunn WJ, Bush AC. A comparison of polymerization by light-emitting diode and halogen-based light-curing units. *J Am Dent Assoc.* 2002;133:335-41.

Emami N, Sjö Dahl M, Söderholm KJM. How filler properties, filler fraction, sample thickness and light source affect light attenuation in particulate filled resin composites. *Dent Mater.* 2005; 2:721-30.

Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international Standards. *J Am Dent Assoc.* 2002;133:429-34.

Firoozmand LM, Araujo RM, Balducci I. Influência de fotopolimerizadores de luz halógena X LED azul na dureza de resina composta. *Cienc Odontol Bras.* 2005; 8(1):67-74.

Firoozmand LM, Balducci I, Araújo MAM. Influência da Fotopolimerização e da Cor da Resina Composta na Microdureza. *Pesq Bras Odontoped Clin Integr.* 2009; 9(1):37-42.

Ganime MM, Giorgi MCC, Dias CTS, Paulillo LAMS. Avaliação de dureza Knoop de resina composta ativada por diferentes fontes de luz. *Cienc Odontol Bras;* 2008; 11(3):74-80.

Giorgi MCC, Paulillo LAMS. Knoop hardness of composites cured with halogen and led light-curing units in class I restorations. *Braz J Oral Sci.* 2009;8(1): 30-3.

Godoy EP, Pereira SK, Carvalho BM, Martins GC, Franco APGO. Aparelhos fotopolimerizadores: elevação de temperatura produzida por meio da dentina e durante a polimerização da resina composta. *Rev Clín Pesq Odontol.* 2007;3(1):11-20.

Hubbezoglu I, Bolayir G, Dogan OM, Dogan A, Özer A, Bek B. Microhardness evaluation of resin composites polymerized by three different light sources. *Dent Mater J.* 2007; 26(6):845-53.

Ilie N, Hickel R. Silorane-based dental composite: Behavior and abilities. *Dent Mater J.* 2006; 25(3):445-54.

Ilie N, Hickel R. Macro-, micro- and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites. *Dent Mater.* 2009;25:810-9.

Ilie N, Jelen E, Clementino-Luedemann T, Hickel R. Low-shrinkage composite for dental application. *Dent Mater J.* 2007; 26(2):149-155.

Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites. *J Dent Res.* 1994; 73(2): 516-21.

Krämer N, Lohbauer U, García-Godoy F, Frankenberger R. Light curing of resin-based composites in the LED era. *Am J Dent.* 2008; 21(3):135-42.

Kurachi C, [Tuboy](#) AM, [Magalhães](#) DV, [Bagnato](#) VS. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. *Dent Mater.* 2001; 17:309-15.

Leonard DL, Charlton DG, Roberts HR, Hilton TJ, Zionik A. Determination of the minimum irradiance required for adequate polymerization of a hybrid and a microfill composite. *Oper Dent.* 2001;26:176-80.

Lien W, Vandewalle KS. Physical properties of a new silorane-based restorative system. *Dent Mater.* 2010; 26:337-44.

Lopez J. Microhardness testing of plastics: Literature Review. *Polimer Testing*. 1993; 12:437-58.

Marghalani HY. Post-irradiation Vickers microhardness development of novel resin composites. *Mat Res*. 2010; 13(1): 81-87.

Martins F, Delbem ACB, Santos LRA, Soares HLO, Martins EOB. Microdureza de resinas em função da cor e luz halógena. *Pesqui Odontol Bras*. 2002; 16(3):246-50.

Nomoto R. Effect of light wavelength on polymerization of light cured resins. *Dent Mater J*. 1997; 16(1):60-73.

Obici AC, Sinhoreti MAC, Sobrinho LC, Goes MF, Consani S. Evaluation of depth of cure and Knoop hardness in a dental composite photo-activated using different methods. *Braz Dent J*. 2004;15(3):199-203.

Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci*. 1997; 105:97-116.

Price RB, Dérand T, Loney RW, Andreou P. Effect of light source and specimen thickness on the surface hardness of resin composite. *Am J Dent*. 2002;15(1):47-53.

Price RBT, Felix CA, Andreous P. Evaluation of a second-generation LED curing light. *J Can Dent Assoc*. 2003; 69(10):666-666i.

Rahiotis C, Kakaboura A, Loukidis M, Vougiouklakis G. Curing efficiency of various types of light-curing units. *Eur J Oral Sci*. 2004; 112:89-94.

Rastelli ANS, Andrade MF, Kurachi C, Bagnato VS. Processo de Fotoativação de Resinas Compostas. *RGO*. 2006; 54(2):139-43.

Reston EG, Barbosa AN, Busato ALS, Klein Junior CA, Carli G, Carvalho CM, Schirmer D. Microdureza de resina composta polimerizada com LEDs de diferentes gerações e luz halógena. *Stomatos*. 2008; 14(27):17-25.

Rode KM, 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;24:87-92.

Rode KM, Kawano Y, Turbino ML. Evaluation of curing light distance on resin composite microhardness and polymerization. *Oper Dent.* 2007; 32(6):571-8.

Rode KM, Lloret PR, Turbino ML. Study of microhardness in depth of composite resin polymerized with argon laser and halogen light. *RPG Rev Pós Grad.* 2005;12(3):287-92.

Rueggeberg FA. Contemporary issues in photocuring. *Compend Cont Educ Dent.* 1999; 20(25): 4-15.

Scougall-Vilchis RJ, Hotta Y, Hotta M, Idono T, Yamamoto K. Examination of composite resins with electron microscopy, microhardness tester and energy dispersive X-ray microanalyzer. *Dent Mater J.* 2009; 28(1):102-12.

Soh MS, Yap A. Influence of curing modes on crosslink density in polymer structure. *J Dent.* 2004; 32:321-26.

Stahl F, Ashworth SH, Jandt KD, Mills RW. Light-emitting diode (LED) polymerization of dental composites: flexural properties and polymerization potential. *Biomater.* 2000; 21:1379-85.

Stansbury JW. Curing dental resins and composites by photopolymerization. *J Esthet Dent.* 2000; 12(6):300-8.

Tsai PCL, Meyers IA, Walsh LJ. Depth of cure and surface microhardness of composite resin cured with blue LED curing lights. *Dent Mater.* 2004; 20:364-9.

Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dent Mater.* 2005; 21:68-74.

Wiggins KM, Hartung M, Althoff O, Christine W, Mitra SB. Curing performance of new-generation light-emitting diode dental curing unit. *J Am Dent Assoc.* 2004; 135:1471-9.

Yap AUJ, Soh MS, Han VTS, Siow KS. Influence of curing lights and modes on cross-link density of dental composites. *Oper Dent* 2004;29(4):410-5.

Yesilyurt C, Yoldas O, Altintas SH, Kusgoz A. Effects of food-simulating liquids on the mechanical properties of a siloranebased dental composite. *Dent Mater J* 2009; 28(3):362–7.

Yoon TH, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Degree of polymerization of resin composites by different light sources. *J Oral Rehabil.* 2002; 29(12):1165-73.