

FLÁVIA HELEN FURTADO LOUREIRO

***INFLUÊNCIA DA COR DO COMPÓSITO E DO FOTOATIVADOR NO
GRAU DE CONVERSÃO E NA DUREZA DE UMA RESINA
COMPOSTA MICRO-HÍBRIDA***

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do Título de Doutor em Materiais Dentários.

Orientador: Prof. Dr. Simonides Consani

PIRACICABA

2010

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**
Bibliotecária: Elis Regina Alves dos Santos – CRB-8ª. / 8099

L934i	<p>Loureiro, Flávia Helen Furtado. Influência da cor do compósito e do fotoativador no grau de conversão e na dureza de uma resina composta micro-híbrida / Flávia Helen Furtado Loureiro. -- Piracicaba, SP: [s.n.], 2010.</p> <p style="text-align: center;">Orientador: Simonides Consani. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.</p> <p style="text-align: center;">1. Materiais dentários. 2. Polimerização. 3. Propriedades físicas. I. Consani, Simonides. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título. (eras/fop)</p>
-------	---

Título em Inglês: The influence of shade and light curing on conversion degree and hardness of microhybrid composites resin

Palavras-chave em Inglês (Keywords): 1. Dental materials. 2. Polymerization. 3. Physical properties

Área de Concentração: Materiais Dentários

Titulação: Doutor em Materiais Dentários

Banca Examinadora: Simonides Consani, Murilo Baena Lopes, Wilson Batista Mendes, Flavio Henrique Baggio Aguiar, Mario Alexandre Coelho Sinhoretti

Data da Defesa: 08-10-2010

Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 08 de Outubro de 2010, considerou a candidata FLÁVIA HELEN FURTADO LOUREIRO aprovada.

Prof. Dr. SIMONIDES CONSANI

Prof. Dr. MURILLO BAENA LOPES

Prof. Dr. WILSON BATISTA MENDES

Prof. Dr. MARIO ALEXANDRE COELHO SINHORETI

Prof. Dr. FLÁVIO HENRIQUE BAGGIO AGUIAR

Dedico este trabalho

A **Deus**, por estar sempre presente,
iluminando e guiando meus passos.

Aos meus pais, **Carmem e Sálvio**, pela dedicação
e por nunca dimensionarem esforços para minha
formação científica.

Ao meu esposo **Vito**, por ser luz na minha vida.
Seu amor e incentivo constantes foram essenciais
para que eu chegasse até aqui.

À minha **família**, em especial minha irmã **Fernanda**
e meus sobrinhos **Matheus e Mariana**, por transmitirem
tamanha alegria e paz no meu dia a dia.

**Vocês são a razão de tudo que faço
e para quem quero ser sempre
uma pessoa melhor.
Amo vocês!**

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao **Prof. Dr. Simonides Consani**, Titular da Área Materiais Dentários, Departamento de Odontologia Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, cuja capacidade e competência foram essenciais para meu crescimento pessoal e profissional. Como orientador, agradeço pela paciência, compreensão e dedicação demonstrada em todos momentos.

Aos professores **Rafael Leonardo Xediek Consani**, **Américo Bortolazzo Correr**, e **Ricardo Danil Guiraldo** pela contribuição no meu exame de qualificação.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do Magnífico Reitor **Prof. Dr. José Tadeu Jorge** e Coordenador-Geral **Prof. Dr. Fernando Ferreira Costa**.

À direção da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas nas pessoas do seu Diretor **Prof. Dr. Francisco Haiter Neto** e do Diretor Associado **Prof. Dr. Marcelo de Castro Meneghim**.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento Profissional de Nível Superior (CAPES)** pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao **Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho**, Titular da Área Materiais Dentários, Departamento de Odontologia Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, pela dedicação demonstrada em todos os momentos e por compartilhar sua experiência e sabedoria.

Ao **Prof. Dr. Mário Alexandre Coelho Sinhoreti**, Titular da Área Materiais Dentários, Departamento de Odontologia Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, pela competência e dedicação demonstrada durante o curso e pelas palavras de incentivo.

À **Profa. Dra. Regina Maria Puppim Rontani**, Titular da Área Odontopediatria, Departamento de Odontologia Infantil, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, pelo carinho e conhecimentos científicos transmitidos durante o curso.

Ao **Prof. Dr. Mario Fernando de Goes**, Titular da Área Materiais Dentários, Departamento de Odontologia Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, por todo o conhecimento transmitido, seriedade e competência.

Aos Professores **Dr. Airton Abrahão Martin** e **Dr. Luis Eduardo Silva Soares**, e ao aluno **Edson Aparecido Pereira dos Santos** pela utilização do Laboratório de Espectroscopia Vibracional Biomédica/UNIVAP para realização da Espectroscopia Raman Transformada de Fourier.

Aos funcionários da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, **Selma Aparecida Barbosa Segalla** e **Marcos Blanco Cangiani**, pela amizade, disposição em colaborar e alegria demonstrada durante todos os momentos.

Aos amigos do curso: **Ailla Lancellotti, Alberth Medina, Alberto Antunes, Andréia Bolzan, Fabíola de Carvalho, Ian Vieira, Julio Almeida, Luciano Gonçalves, Marcelo Oliveira, Myrna Dias, Rafael de Moraes, Sandrine Berger, Suzana de Fúcio, Vanessa Macedo e William Brandt**, por todos os momentos compartilhados. Em especial à amiga **Paula Komori**, pelos anos de convívio e atenção dispensada na realização deste trabalho.

A todos que indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.”

John Ruskin

RESUMO

O objetivo foi avaliar o grau de conversão e a dureza Knoop de uma resina composta micro-híbrida ativado por duas fontes de luz. Foi utilizada lâmpada halógena de quartzo-tungstênio (Degulux Soft Start- Degussa) e LED (Smartlite PS- Dentsply) para polimerizar 40 amostras com 2 mm de espessura por 3 mm de diâmetro, nas cores A1 e A3,5. Vinte amostras foram fotoativadas com LED (1100 mW/cm²/40 s) e vinte com QTH (800 mW/cm²/40 s). Após 24 horas armazenadas em estufa a 37°C, foi mensurado o grau de conversão com espectroscopia FT-Raman e, após 48 horas, a dureza pelo teste Knoop nas regiões (topo e base) das amostras. Os valores foram submetidos à ANOVA três fatores e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Os valores de dureza Knoop na fotoativação com QTH foram de 94,76 KHN (topo) e 72,36 KHN (base) para o compósito na cor A1; na cor A3,5, os valores foram de 89,92 KHN (topo) e 68,90 KHN (base). A fotoativação com LED mostrou valores de 89,84 KHN (topo) e 82,98 KHN (base) para A1 e de 97,48 KHN (topo) e 85,66 KHN (base) para A3,5. O grau de conversão na fotoativação com QTH foi de 63,15% (topo) 65,40% (base) para A1, e de 67,17% (topo) e 61,59% (base), para a cor A3,5. Para o LED, os valores foram de 60,58% (topo) e 60,49% (base) para A1, e 64,06% (topo) e 65,32% (base) para A3,5. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa na dureza Knoop do compósito após a polimerização com os métodos de fotoativação utilizados. A análise da dureza em relação à tonalidade e profundidade de polimerização indicou que não houve diferença estatisticamente significativa entre as cores nos dois fotoativadores; entretanto, o compósito de cor A1 demonstrou maior dureza Knoop no topo comparado com a base na fotoativação com QTH e LED, enquanto na cor A3,5 houve maior dureza no topo apenas com o fotoativador QTH. Nos resultados do teste do grau de conversão não foi observada diferença estatisticamente significativa para tonalidade e profundidade de polimerização na fotoativação com QTH e LED. Os fotoativadores QTH e LED promoveram

diferentes valores de conversão e de dureza Knoop nas regiões de topo e base para ambas as cores avaliadas.

Palavras chave: Materiais Dentários, Resina composta, Polimerização, Propriedades Físicas.

ABSTRACT

The objective was evaluated the degree of conversion and Knoop hardness of the microhybrid composite resin activated by two light-cure units. A halogen quartz-tungsten light (Degulux Soft Start-Degussa) unit and a light LED (Smartlite PS-Dentsply) unit were used to polymerize 40 specimens of 2 mm depth and 3 mm diameter in A1 and A3.5 shades. Twenty specimens were irradiated by LED (1100 mW/cm²/40 s) and twenty by QTH (800 mW/cm²/40 s). After 24 hours storage at 37°C, it was evaluate the degree of conversion by micron-Raman spectroscopy and, after 48 hours the microhardness by Knoop hardness test in the regions (top and bottom) of the specimens. Data were submitted to ANOVA three-factors and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). The values of Knoop hardness in the photoactivation with QTH were 94.76KHN (top) and 72.36 KHN (bottom) to composite shade A1, and 89.92 KNH (top) and 68.90 KNH (bottom) to shade A3.5. The photoactivation with LED showed values of 89.84 KHN (top) and 82.98 KHN (bottom) to shade A1, and 97.48 KHN (top) and 85.66 KHN (bottom) to shade A3.5. The degrees of conversion for photoactivation with QTH were 63.15% (top) and 65.40% (bottom) to shade A1, and 67.17% (top) and 61.59% (bottom) to shade A3.5. LED photoactivation showed values of 60.58% (top) and 60.49% (bottom) to shade A1, and, 64.06% (top) and 65.32% (bottom) to shade A3.5. The results showed no statistically significant difference for Knoop hardness between light cure methods after polymerization. Analysis of the hardness in relation to shade and depth of cure indicated no statistical significant difference between shades on the both light-cure units; however, the A1 composite shade demonstrated greater Knoop hardness on the top when compared to the bottom in the QTH and LED light-cure units; whereas A3.5 shade showed greater hardness on the top only for QTH light-cure unit. In the conversion degree test, no statistical significant difference was observed in the shade and depth of cure for photoactivation with QTH and LED

units. The light-cure QTH and LED promoted different values of conversion and Knoop hardness in the top and bottom regions to both shades evaluated.

Key words: Dental Materials, Composite resin, Polimerization, Physical Properties.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3. PROPOSIÇÃO	42
4. MATERIAL E MÉTODO	43
4.1. MATERIAL	43
4.2. MÉTODO	43
4.2.1. Confeção das amostras	44
4.2.2. Grau de Conversão	45
4.2.3. Ensaio de dureza Knoop	47
5. RESULTADOS	49
5.1. GRAU DE CONVERSÃO	49
5.2. ENSAIO DE DUREZA KNOOP	52
6. DISCUSSÃO	57
7. CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

Em meados dos anos 60 foram introduzidos no mercado odontológico os compósitos com indicação para dentes anteriores, em substituição aos restauradores estéticos cimento de silicato e resina acrílica (Bowen, 1963). Desde então, o desenvolvimento destes materiais restauradores tem sido altamente significativo, e com as melhorias alcançadas, suas indicações clínicas foram ampliadas, possibilitando também o uso em dentes posteriores.

A resina composta pode ser definida como uma combinação tridimensional de pelo menos dois materiais quimicamente diferentes, com uma interface distinta separando-os (Phillips, 1973). Basicamente são compostos por matriz orgânica, partículas de carga (vidros, quartzo e/ou sílica fundida) e agente de união, geralmente um silano orgânico, com característica bifuncional, possibilitando união química com a partícula de carga e copolimerização com os monômeros da matriz orgânica. A reação de presa do material ocorre por meio de um processo químico de polimerização, onde os monômeros unem-se por meio de ligações químicas, formando moléculas maiores, chamadas polímeros (Peutzfeldt, 1997; Anusavice, 1998).

No início da década de 70 foram desenvolvidas as resinas compostas fotoativadas. Os primeiros produtos eram fotoativados por luz ultravioleta, que oferecia riscos à visão humana, tanto do operador quanto do paciente e proporcionava propriedades físicas e mecânicas insatisfatórias ao compósito (Peutzfeldt *et al.*, 2000; Sahafi *et al.*, 2001).

Posteriormente, a fotoativação por luz visível foi desenvolvida para abranger a região azul do espectro eletromagnético. A canforoquinona, fotoiniciador mais utilizado na composição das resinas compostas, possui espectro de absorção no intervalo entre 400 e 500nm, sendo que o comprimento de onda mais eficiente para a sensibilização da canforoquinona seria entre 468 – 470nm (Nomoto, 1997). Contudo, a resina composta ao se polimerizar gera contração, resultante da formação de ligações covalentes

Diferentes fontes de luz têm sido utilizadas na fotoativação das resinas compostas. Os aparelhos que emitem luz halógena, compostos por lâmpadas de quartzo-tungstênio-halogênio, são os mais tradicionais; porém, o calor gerado durante o processo constituiu uma das desvantagens do método. Com o objetivo de minimizar o calor durante a polimerização foram desenvolvidos aparelhos que emitem luz por diodo (LED) abrangendo comprimento de onda de 455 a 486 nm (Anusavice, 1998). O laser de íon argônio e o arco de plasma de xenônio (PAC) emitem luz de alta potência, que possibilita aumentar a profundidade da polimerização e diminuir o tempo de irradiação (Tarle *et al.* 2002, Leonard *et al.*, 2002).

A intensidade da irradiação da luz é um dos fatores que pode afetar a tensão de polimerização, provocando efeito de contração do polímero, observado, com mais evidência, na ativação por emissão da luz contínua. Alguns métodos podem ser utilizados com o intuito de minimizar ou controlar esse efeito indesejado, tais como o *soft-start*, que emite luz com menor intensidade inicial seguida por intensidade maior ao final da fotoativação, e a luz pulsátil, caracterizada por ser intermitente, (1/2 s acesa e 1/2 s apagada), com intensidade de 450 mW/cm² (Obici *et al.*, 2002). Desta forma, o espectro emitido pela fonte de luz, a intensidade da luz emitida e o modo de fotoativação são fatores importantes para a efetividade da fonte de luz (Rueggeberg, 1999, Price *et al.*, 2005).

Na polimerização, a ação de cura começa com a exposição da resina composta à luz de comprimento de onda compatível com a faixa de absorção dos fotoativadores. Em seguida ocorre a formação de radicais livres que iniciam a polimerização a partir da quebra de ligações duplas de carbono (C=C) das cadeias alifáticas no monômero, ativando uma reação seqüencial, na qual a quebra da ligação dupla resulta em um elétron livre que fica disponível à reação com outras ligações duplas e assim, sucessivamente, completando o ciclo de polimerização do compósito (Rueggerberg, 1999; Gonçalves *et al.*, 2007).

A longevidade das restaurações de resina composta depende da polimerização adequada, condição diretamente relacionada com o grau de

conversão e dureza, obtida depois da fotoativação. Quanto maior o grau de conversão do monômero, melhor serão as propriedades mecânicas, a resistência ao desgaste e outras propriedades essenciais para o desempenho clínico (Bala *et al.*, 2005).

A cor da resina composta pode exercer influência significativa no grau de conversão final do compósito. Assim, grande diversidade de cores é comercializada com o intuito de promover propriedades ópticas semelhantes às das dos dentes naturais, sendo que a diferença na tonalidade de cor é estabelecida pela quantidade de pigmentos adicionada ao compósito (Bala *et al.*, 2005).

Aguiar *et al.* (2005) mostraram que a tonalidade de cor escura e opacidade das resinas compostas são capazes de afetar a polimerização e, conseqüentemente, a microdureza do material, devido à menor penetração da luz no interior do compósito resinoso. Quando a resina não recebe quantidade suficiente de luz, o grau de conversão monomérico será menor e, conseqüentemente, ocorrerá redução da dureza, causando maior desgaste e fratura das margens da restauração (Ferracane, 1997; Munksgaard *et al.*, 2000). Portanto, a microdureza das resinas compostas pode variar de acordo com o tipo de resina, cor e composição bem com o tipo de unidade fotoativadora (Hubbezoglu *et al.*, 2007).

De acordo com alguns autores, mesmo com a correta fotoativação é difícil obter conversão total dos monômeros da resina composta (Pianelli *et al.* 1999; Silikas *et al.* 2000; Yap *et al.*, 2004). Desta forma, seria importante conhecer e identificar as características dos compósitos e das unidades fotoativadora para facilitar a escolha de compósitos restauradores que promovam qualidade e durabilidade das restaurações.

Com base nessas considerações, seria oportuno avaliar a influência do tipo de fotoativador e da cor do compósito no grau de conversão e na dureza de uma resina composta micro-híbrida, nas regiões de topo e base.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1955, Buonocore propôs o condicionamento ácido em esmalte, o que propiciou a obtenção de forças de adesão capazes de superar as tensões encontradas no ambiente bucal. Utilizou o ácido fosfórico no esmalte dentário para retenção de resina acrílica na superfície do esmalte, recomendando essa técnica para o recontorno de dentes, uma vez que a mesma permitia a remoção de quantidades microscópicas de esmalte. A técnica possibilitou a desmineralização da camada superficial do esmalte, tornando-a mais receptiva à adesão. Este estudo foi o primeiro grande impulso para o início da era adesiva que criou novos conceitos propiciando aos atuais preparos cavitários maior preservação de estrutura dental sadia.

Bowen, em 1963, avaliou o efeito do tratamento da superfície de partículas de sílica vítrea a serem incorporadas na resina Bis-GMA. Tal procedimento tinha como objetivo produzir um material com melhores propriedades, especialmente reduzir contração de polimerização. O tratamento das partículas foi realizado pela cobertura da superfície com vinil-silano. Uma mistura de 70% em peso (55% em volume) de sílica tratada para 30% em peso (45% em volume) do co-monômero Bis-GMA diluído em 10% de metil metacrilato e 10% de monômero TEGDMA foi utilizada no estudo para comparação com outros materiais estéticos. Os dados dos ensaios mostraram que a mistura de sílica tratada com a resina Bis-GMA resultou na diminuição da solubilidade, sorção de água, coeficiente de expansão térmica e contração de polimerização e no aumento do módulo de elasticidade, resistência à compressão, tração e penetração, quando comparado com o cimento de silicato e resina acrílica. Quando a resina Bis-GMA foi misturada com partículas de sílica que não tiveram a superfície tratada com o vinil-silano, as propriedades resultantes mostraram valores inferiores. O autor concluiu que o reforço da resina Bis-GMA com sílica tratada melhorava as propriedades do material restaurador.

Cook (1980) estudou os fatores que afetam a profundidade de polimerização de seis marcas de resinas compostas ativadas por luz ultravioleta. Os espécimes foram confeccionados com auxílio de moldes de aço inoxidável de 4 mm de diâmetro e 8 mm de profundidade, utilizando as fontes de luz e o tempo de fotoativação indicadas pelos fabricantes. Após 24 horas de armazenamento dos corpos-de-prova em estufa, a porção não polimerizada de resina foi removida com espátula plástica, a espessura do remanescente de resina foi medida com micrômetro e obtida a profundidade de polimerização. Os resultados permitiram concluir que o grau de polimerização decresceu rapidamente com o aumento da profundidade; o aumento do tempo de fotoativação aumentou a dureza, enquanto o aumento da concentração de inibidor apresentou efeito contrário; a profundidade de polimerização dependeu do material restaurador, da fonte de luz e do tempo de fotoativação.

Pollack & Blitzer (1982) classificaram as resinas compostas em quimicamente ativadas e fotoativadas (ativadas por luz ultravioleta ou visível). Afirmaram que as resinas quimicamente ativadas têm reação de polimerização continuada após a manipulação, mas apresentam desvantagens como a necessidade de manipulação de duas pastas, o que pode incorporar bolhas de ar no interior do material, interferindo nas propriedades físicas, e aumentar a vulnerabilidade ao manchamento da superfície. As resinas compostas polimerizadas por luz ultravioleta (UV) apresentavam fácil manipulação, tempo de trabalho ilimitado com ativação por 20 a 40 segundos e melhores propriedades físicas. Entretanto, a luz UV não apresentava grande penetração e causava danos à saúde. Já as resinas ativadas por luz visível proporcionavam polimerização mais rápida e completa, podiam ser fotoativadas através da estrutura dentária, devido à maior penetração desse tipo de luz, apresentavam melhores propriedades físicas, além da eliminação de aminas aromáticas, o que aumentaria a estabilidade de cor. Como desvantagens, teriam o custo dos aparelhos utilizados para sua ativação e possibilidade de danos que essas luzes poderiam causar aos olhos de operadores e assistentes.

Mills (1995) relatou que as unidades convencionais de fotoativação fazem uso de uma lâmpada incandescente e apresentam desvantagens que incluem: necessidade de um filtro para gerar uma fonte de luz azul com comprimento de onda na região de 470 nm; são relativamente ineficazes, pois a luz consiste de vários comprimentos de onda supérfluos e muito dessa energia é convertida em calor; e, com o uso, ocorre perda da potência efetiva e a lâmpada necessita ser trocada. Já os LEDs apresentam várias vantagens: são baratos, utilizam baixa voltagem, têm longa vida útil, podem ser projetados para emitir comprimentos de onda específicos, são compactos e a sua resistência a choque e vibração é superior à das lâmpadas incandescentes. Os LEDs vermelhos, verdes e amarelos estão disponíveis há vários anos e produzem luz através de um semicondutor de arseniato de gálio ou arseniato fosfato de gálio; Os LEDs azuis, mais recentes, produzem luz através de um semicondutor de nitreto de gálio e são usados para escaneamento colorido de alta velocidade e em transmissão de dados através de líquidos. O autor testou um aparelho à base de LEDs para experimentá-lo como fotoativador de resinas compostas, e verificou que o mesmo polimerizou satisfatoriamente uma amostra de resina com 5 mm de diâmetro por 2 mm de profundidade após irradiação por 80 segundos. O comprimento de onda emitido pelo LED utilizado foi 20 nm, abaixo do pico máximo necessário para muitos materiais fotoativáveis (o espectro de absorção da canforoquinona, a substância fotossensível mais comumente empregada pelos fabricantes de resina, fica na região de 450 a 500 nm, com pico máximo em 470 nm) e o aparelho foi usado com 50% da capacidade

Meira & Cardoso (1996) avaliaram a dureza Knoop e a resistência ao desgaste de uma resina composta em função da cor e da unidade fotoativadora. Foi selecionada a resina composta TPH nas cores incisal (cor mais clara) e XGB (cor mais escura). A fotoativação foi feita com os aparelhos Visilux ou Primelite, ambos com lâmpada halógena. Os testes de dureza Knoop foram realizados em amostras com 1 mm de espessura, tanto na superfície de topo como na de base. Também foram realizados testes de resistência ao desgaste em máquina de

ciclagem mecânica, cujos espécimes eram constituídos de molares hígidos, embutidos em pequenos anéis de plástico, com cavidades padronizadas restauradas com resina composta. Após 16.000 ciclos foi realizada a análise do desgaste pelo método indireto comparando os modelos em gesso dos corpos-de-prova com réplicas, também em gesso, dos padrões da escala M-L. Os autores concluíram que: no teste de dureza, a cor incisal apresentou valores maiores e mais uniformes quando comparada com a cor XGB; no teste de desgaste, não houve diferença estatisticamente significativa entre as variáveis estudadas.

Ferracane *et al.* (1997) estudaram diferentes graus de conversão das resinas compostas, com o objetivo de verificar se o desgaste marginal poderia ser minimizado com uma polimerização otimizada. Foi avaliada a resina composta híbrida contendo 50% Bis-GMA/50% TEGDMA e 62% de vidro de estrôncio (1 a 2 micrometros) com microfill Heliomar (Bisco). Os compósitos foram fotoativados em diferentes tempos (9s, 12s, 25s, 40s, e 40s + 10min até 120° C) e polidos logo após a polimerização. Após a fotoativação por 9s e 40s, o grau de conversão obtido pelo teste FTIR, foi de 55% e 67%, respectivamente. Após 2 anos, o desgaste do compósito híbrido foi de 144 micrometros para a ativação de 9s e de 36 micrometros para a ativação de 40s; para o Heliomolar o desgaste ficou entre 11 a 16 micrometros. Houve uma forte correlação negativa ($r^2 = 0.91$) entre o grau de conversão e o desgaste abrasivo dos compósitos híbridos. O desgaste marginal foi insignificante para o compósito híbrido, e para o Heliomar houve uma redução de 40% para 15% da margem devido ao tratamento térmico. Os autores concluíram que o desgaste abrasivo de um compósito dental poderia ser minimizado com o melhoramento do seu grau de conversão.

Em 1998, Anusavice classificou as resinas para restauração em materiais ativados quimicamente e fotoativados. As resinas ativadas quimicamente são fornecidas em forma de duas pastas, uma contendo um iniciador (peróxido de benzoíla), e a outra, um ativador constituído por amina terciária (N,N-dimetil-p-toluidina). Quando as duas pastas são espatuladas, a amina reage com o peróxido de benzoíla para formar os radicais livres, e a polimerização por adição é iniciada.

Já as resinas fotoativadas, que inicialmente eram ativadas por luz ultravioleta (UV), atualmente são materiais ativados por luz visível. São fornecidas em uma pasta contida em seringa, contendo como parte da composição uma substância fotossensível, geralmente a canforoquinona (com absorção entre 400 e 500 nm, na zona azul do espectro de luz visível), e uma amina ativadora. Quando esses dois componentes não são expostos à luz, eles não interagem. Entretanto, a exposição à luz com comprimento correto de onda (aproximadamente 468 nm) produz um estado de excitação da canforoquinona, que interage com a amina para formar os radicais livres que iniciam a polimerização por adição.

Arakawa *et al.* (1998) examinaram as características de transmissão da luz sobre onze resinas compostas de dois sistemas de diferentes tonalidades e espessuras (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 mm). Foram medidas as transmissões de luz com comprimentos de onda de 400 a 700 nanômetros. Os valores da cor e as diferenças da cor entre espessuras de um espécime do sistema de cor CIE L*a*b* foram determinados por um cronômetro digital. O teste Anova combinado com o teste de Tukey foi utilizado para verificar as diferenças na transmissão de luz, nos valores da cor e na diferença entre as cores. Diferenças significativas foram encontradas de acordo com o comprimento de onda utilizado entre os dois materiais, e entre as cores de cada material. A transmissão de luz em resinas foi menor com comprimento de onda menor, mas foram quase iguais ou significativamente mais elevados em transmissão de luz com comprimentos de onda mais elevados. Houve uma correlação significativa entre a mudança de transmissão da luz e a diferença da cor. Os dois materiais mostraram diferenças significativas no componente cromático da cor. Os resultados indicam que as características de transmissão de luz, incluindo a dependência do comprimento de onda, apresentam um papel importante para a cor de uma resina composta. A diferença significativa das características de transmissão da luz entre os materiais e cores afetará clinicamente as resinas.

Pilo *et al.* (1999) aplicaram testes de dureza Knoop na superfície de topo e de base de espécimes cilíndricos com 3 mm de espessura, fotoativados por

50 segundos, utilizando-se 50 lâmpadas escolhidas aleatoriamente. A intensidade de luz medida pelos radiômetros foi na faixa de 25-825 e 0-325 mW/cm², respectivamente. Os resultados mostram que a dureza da superfície de topo, que é a mais próxima da ponta ativa da fonte de luz, é menos dependente da distância da ponta ativa, da intensidade de luz e da duração da irradiação, quando comparada à superfície de base. Os autores afirmam que, de acordo com o fabricante, a unidade fotoativadora é considerada inadequada para uso com leitura menor que 200 mW/cm² pelo radiômetro e menor que 50 mW/cm² pelo potenciômetro. Assim, concluíram que 46% das lâmpadas necessitavam de reparo ou reposição e que a forte correlação encontrada entre os valores de dureza e a intensidade de luz confere a utilidade do radiômetro em prever a capacidade de polimerização de unidades fotoativadoras.

Leinfelder (1999) destacou que durante a polimerização era necessária uma quantidade mínima de intensidade de luz para garantir melhor polimerização. Recomendaram modificação do conceito do uso de altas intensidades de luz, inicialmente a exposição à baixa intensidade (em torno de 250 mW/cm²) durante 10 segundos e então irradiando com intensidade mais alta (por volta de 650 mW/cm² a 680 mW/cm²) durante 20 segundos. Vários novos aparelhos fotoativadores vêm sendo produzidos para promover esse objetivo de duas maneiras: 1^a) *gradual ou "soft-start"*: a unidade fotoativadora gera dois diferentes níveis de radiação (um inicial de menor intensidade de luz, seguido de outro de maior intensidade); 2^a) *Gradual exponencial ou "ramp"*: a unidade fotoativadora produz um nível mais baixo de luz seguido por um aumento gradual (ou em rampa) da luz até um nível definido de intensidade. Uma aplicação inicial de irradiação de alta intensidade pode causar um aumento da tensão na interface dente/restauração, mais comumente ao longo das margens oclusais cavo-superficial, podendo potencialmente ocorrer formação de fendas. O uso de baixa intensidade de luz para polimerizar uma restauração de resina composta resulta em distribuição mais uniforme dos vetores de força e maior potencial para adaptação marginal. Os autores concluíram que um processo de polimerização

em dois passos contribui muito para melhor adesão, particularmente às superfícies dentinárias.

De acordo com Rueggeberg (1999), o tempo de exposição à luz para polimerização pode variar de acordo com as condições de luz do ambiente e com a sensibilidade do filme a ser utilizado (ASA ou número ISO): um filme mais sensível vai necessitar de tempos de exposição mais curtos em níveis menores de iluminação do que filmes de menor sensibilidade. Para calcular essa energia total, é necessário saber a intensidade de luz emitida pela unidade fotoativadora (em mW/cm^2) e a duração do tempo de exposição (em segundos). Considerando-se uma resina que necessite de exposição de $600 \text{ mW}/\text{cm}^2$ durante 40 segundos para propiciar adequada polimerização a 2 mm de profundidade, a energia total é o produto de $40 \text{ s} \times 600 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ou $24000 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ ($24 \text{ J}/\text{cm}^2$). Dessa forma, qualquer combinação de tempo de exposição e intensidade de luz que resulte em $24 \text{ J}/\text{cm}^2$ deve propiciar a mesma qualidade de polimerização. O autor ressaltou que o rótulo da resina composta deve trazer informações sobre a energia necessária para a polimerização e, da mesma forma, o aparelho fotoativador deve indicar a intensidade de luz e o comprimento de onda emitido.

Pianelli *et al.* (1999) avaliaram o grau de conversão de uma resina composta por meio da espectroscopia FTIR que é uma técnica de absorção e compararam com a espectroscopia micro-Raman. Confirmaram que depois da fotoativação, as resinas atingem no máximo cerca de 50% de conversão. Os autores concluíram que a técnica Raman é um método fácil de avaliar o grau de conversão e a profundidade de polimerização durante os primeiros estágios da conversão, e também mais fácil que a técnica FTIR. Porém parece que as medidas das propriedades mecânicas da resina, como dureza e módulo de Young, são mais sensíveis que as técnicas vibracionais para medir pequenas mudanças no grau de conversão quando a resina está cheia de ligações cruzadas na pós-polimerização.

A finalidade do estudo de Munksgaard *et al.* (2000) foi medir e comparar a eluição dos monômeros de uma resina experimental de BisGMA-TEGDMA e de

uma resina composta quando fotoativadas com luz halógena ou arco de plasma. Os espécimes foram imersos em metanol, e os monômeros liberados com o tempo foram analisados por cromatografia líquida de alta performance (HPLC). Por meio das leis de difusão de Fick, a quantidade de monômeros liberados foi estimada. A separação dos espécimes da resina e da resina composta fotoativados com a unidade de arco do plasma foi de 7 a 4 vezes maior, respectivamente, se comparadas à eluição dos espécimes fotoativados com a unidade halógena. Concluiu-se que a luz do arco de plasma não forneceu polimerização ótima quando usada como recomendado pelo fabricante.

Silikas *et al.* (2000) investigaram a relação entre o grau da conversão (DC) e os valores da tensão da compressão de duas resinas compostas irradiadas por dois níveis da intensidade de luz, por períodos de tempo diferentes. O DC dos compósitos Z100 e Tetric Ceram foi medido pela espectroscopia de FTIR imediatamente após a fotoativação e os valores de compressão foram obtidos continuamente durante 30 minutos após a fotoativação. Todas as amostras foram polimerizadas com temperatura inicial de 23°C, usando a unidade Elipar Highlight, mediante as seguintes modalidades de luz: 1) 40 s de 750 mW/cm²; 2) duas modalidades de irradiação inicial gradual; 3) 10 s de 200 mW/cm² e 30 s de 750 mW/cm²; 3) 40 s de 200 mW/cm²; e 4) 10 s de 200 mW/cm². Os efeitos da luz e exotermia não foram eliminados. Os resultados indicaram que a modalidade 2 da irradiação não reduziu a DC para cada material, em relação ao valor obtido com modalidade 1. Os valores correspondentes da tensão de compressão após 30 min não foram significativamente diferentes. Entretanto, os efeitos de níveis reduzidos de intensidade de luz para 10 s e 40 s (modalidades 3 e 4), similares aos resultados precedentes que mostraram níveis reduzidos de compressão. Para ambos os compósitos, o tempo de fotoativação e a intensidade de luz apresentaram entre si relação de regressão linear ($r^2 > 0.99$) entre a tensão de compressão e o valor de DC. Os autores concluíram que a redução no grau de compressão pode ser obtida com a redução aceitável no grau de conversão da resina.

Peutzfeldt *et al.*, em 2000, avaliaram as propriedades de compósitos fotoativados pelos aparelhos Apolo 95E e 1000 PAC, que emitem alta intensidade luminosa e permitem a redução do tempo de exposição. Para todos os testes, os métodos para fotoativação foram: Apolo 95E, 3 s com intensidade de 1370 mW/cm²; 1000 PAC, 10 s com intensidade de 980 mW/cm²; XL 3000 (controle), 40 s com intensidade de 480mW/cm². Foram investigadas: a) quantidade de duplas ligações remanescentes, através de espectroscopia de Fourier; b) profundidade de polimerização, avaliada através de cavidade cilíndrica em molares humanos extraídos, onde os compósitos foram inseridos e polimerizados. Os resultados mostraram que para o aparelho Apolo 95E, as duplas ligações remanescentes foram maiores que no grupo controle, isso porque a densidade energética final dada pelo Apolo (4,1 J/cm²) foi insuficiente para o grau de conversão adequado, porque o tempo de exposição foi demasiadamente reduzido. O 1000 PAC exibiu eficácia relativa dependendo do compósito utilizado, sendo que a densidade energética final foi de 9,8 J/cm². Houve diferença na profundidade de polimerização entre os aparelhos utilizados devido às diferenças na densidade energética final, onde as maiores profundidades de polimerização foram obtidas com o XL 3000, seguido pelo 1000 PAC e Apolo 95E com a menor profundidade. A resistência à flexão e a contração de polimerização não foram afetadas pelos métodos de fotoativação. Os autores concluíram que os fotoativadores deviam ser utilizados com cautela, porque nos tempos de fotoativação indicados pelos fabricantes pode haver redução das propriedades mecânicas dos compósitos restauradores e diminuição da vida útil das restaurações.

Carvalho *et al.* (2000), por meio da dureza Knoop observaram o grau de polimerização de 5 resinas compostas (Z100, Alert, Filtek P-60, Filtek Z250 e Solitaire). Foram confeccionados 5 corpos-de-prova para cada material, utilizando uma matriz com uma cavidade cilíndrica de 5x5 mm, onde o material foi inserido em incremento único e fotoativado por 40 segundos com 500 mW/cm² de intensidade de luz. Após a fotoativação, as amostras foram armazenadas em ambiente escuro a 37°C durante 24 horas, fixadas em uma base de resina acrílica,

desgastadas longitudinalmente, sob irrigação, com lixas 400, 600 e 1200 e, ainda, com pastas diamantadas de granulação de 6,3 e 1 μm , sendo que, após cada procedimento foram limpas em aparelho de ultra-som. Para os ensaios de dureza foi utilizado um durômetro Shimadzu, modelo HVM – 2000, com carga de 25 gramas em 4 diferentes pontos, distantes 1mm entre eles, nas profundidades de 1, 2, 3 e 4 milímetros. As resinas Alert e Z100 apresentaram os maiores valores de dureza, seguidos por Filtek P-60 e Filtek Z250, com valores semelhantes; os valores mais baixos foram apresentados pela Solitaire. Todos os materiais mantiveram os mesmos valores de dureza nas 4 profundidades analisadas, exceto a resina Z100.

Em 2001, Sahafi *et al.* determinaram os efeitos da fotoativação por dupla intensidade de luz na adaptação marginal de compósitos em cavidades situadas em dentina. As cavidades cilíndricas com 3,1 ou 3,3mm de diâmetro e 1,5mm de profundidade foram confeccionadas em molares humanos, cuja superfície radicular havia sido desgastada para obtenção de área plana em dentina. As amostras foram divididas em oito grupos: 1 a 4 foram restaurados com Scotbond Multi-purpose Z100 e de 5 a 8 com Optibond FL e HerculiteXRV. Os grupos 1 e 5 foram ativados 40 segundos a 750 mW/cm^2 ; grupos 2 e 6 foram ativados por 10 segundos a 150 mW/cm^2 e mais 30 segundos a 750 mW/cm^2 ; nos grupos 3 e 7 a lâmpada foi afastada 2 cm da cavidade durante os primeiros 20 segundos (100 mW/cm^2), aproximada gradualmente nos 10 segundos seguintes e deixada em contato com a restauração nos 10 segundos finais, e nos grupos 4 e 8 nos 20 segundos iniciais da fotoativação foi utilizado um filtro verde colocado entre a ponta do fotoativador e a restauração (140 mW/cm^2) e nos 20 segundos finais a lâmpada foi colocada em contato com a restauração. A adaptação marginal foi mensurada em microscópio óptico, considerando a maior fenda formada, como porcentagem do diâmetro da cavidade. Os resultados mostraram que o método de fotoativação por dupla intensidade de luz não influenciou na adaptação marginal de restaurações em compósito. A seleção do material restaurador foi relevante,

considerando que o sistema Optibond FL – Herculite XRV apresentou valor de contração significativamente menor que o sistema Scotchbond – Z100.

Tanoue *et al.* (2001) estudaram a profundidade de polimerização de diferentes tonalidades de resina composta e a influência da variação da cor nas propriedades dos materiais polimerizados. Foram avaliadas quatro resinas da marca Artglass, de tom mais claro (A1, B1, C1 e D2) e quatro resinas de tom mais escuro (A4, B4, C4 e D4). Os espécimes de cada tonalidade foram expostos à ativação (UniXS) por períodos de 20, 30, 60 e 90 s. A profundidade de polimerização de cada material foi avaliada pela técnica de raspagem descrita pelo International Organization for Standardization (ISO 4049), e os valores médios dos grupos de cinco espécimes foram comparados usando a análise de variação (ANOVA) e intervalo S de Scheffe ($p < 0,05$). Os parâmetros da cor de $L^*a^*b^*$ de cinco espécimes depois da exposição de 90 s foi medida usando colorímetro dental (ShadeEye) a fim de determinar as diferenças na cor. Os resultados revelaram que a profundidade de polimerização das resinas claras foi consistentemente maior que a das escuras. Dentre oito cores selecionadas, a cor B1 demonstrou maior profundidade de polimerização, enquanto a cor A4 exibiu menor profundidade de polimerização. Para todas as cores, exposição mais longa aumentou a profundidade de polimerização. Todas as tonalidades claras exibiram valores mais elevados de L^* que algumas das quatro cores escuras. A profundidade de polimerização da resina composta pode ser relacionada à variação da tonalidade e ao período de exposição à unidade de fotoativação.

Obici *et al.*, em 2002, mediram a fenda que resultou da contração de polimerização de 7 compósitos após a fotoativação por 3 métodos diferentes. A contração, de acordo com a região da amostra, também foi avaliada. Os materiais usados para o estudo foram Alert (Jeneric/Pentron, Wallingford, CT 06492, USA), Surefil (Dentsply Caulk, Milford, DE 19963, USA), P60 (3M Dental Products, St Paul, MN 55144, USA), Z250 (3M), Z100 (3M), Definite (Degussa-Hüls, Hanau, Germany) e Flow-it (Jeneric/ Pentron). O compósito foi colocado num molde circular de 7 mm de diâmetro por 2 mm de altura. A fotoativação foi realizada por

luz contínua (500 mW/cm^2) durante 40s, por dupla intensidade com baixa intensidade (150 mW/cm^2) durante 10s e alta intensidade (500 mW/cm^2) durante 30 s e luz intermitente (450 mW/cm^2) durante 60 s. O topo e a base da superfície foram polidas e após 24 horas (± 1 hora), a contração da fenda foi mensurada por MEV. Os resultados foram analisados por análise de variância e comparados com o teste Tukey. Os resultados demonstraram: 1- o método de luz contínua apresentou fendas com maiores valores ($15,88 \mu\text{m}$), enquanto os outros métodos demonstraram menores valores de contração de polimerização (dupla intensidade, $13,26 \mu\text{m}$ e luz intermitente, $12,79 \mu\text{m}$); 2- os compósitos contraíram mais na base da superfície ($15,84 \mu\text{m}$) do que no topo ($12,11 \mu\text{m}$) e 3- os compósitos Alert ($12,02 \mu\text{m}$), Surefil ($11,86 \mu\text{m}$), Z250 ($10,81 \mu\text{m}$) e P60 ($10,17 \mu\text{m}$) apresentaram menor contração da fenda, seguidos por Z100 ($15,84 \mu\text{m}$) e Definite ($14,06 \mu\text{m}$) e 4- o compósito de baixa viscosidade Flow-it ($23,09 \mu\text{m}$) apresentou o maior valor.

Carvalho (2002) avaliou a influência da energia luminosa utilizada na fotoativação de resinas compostas na dureza superficial e no número relativo de radicais livres remanescentes, por meio de testes de dureza Knoop e Espectrometria de Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE). As resinas utilizadas, dois materiais fabricados pela 3M do Brasil (Z100 e Filtek Z250), foram fotoativadas com aparelho Degulux (Degussa, Alemanha), utilizando três combinações entre intensidade de luz e tempo de ativação, tomando-se como base a potência fornecida pelo aparelho fotoativador e o tempo de fotoativação recomendado pelo fabricante das resinas. As formas de fotoativação foram: 1) 600 mW/cm^2 (Z100 durante 40 segundos, e Filtek Z250 por 20 segundos), 2) 300 mW/cm^2 (Z100 durante 80 segundos, e Filtek Z250 por 40 segundos) e 3) 300 mW/cm^2 durante 20 segundos e mais 600 mW/cm^2 com 30 segundos para a Z100, e para a Filtek Z250, 10 segundos. Para cada ensaio de dureza foram preparadas 5 amostras com 5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura. As leituras foram realizadas nos tempos de 1 hora, 1 dia, 1 semana e 1 mês nas superfícies de topo e base. Nos intervalos de tempo, as amostras foram armazenadas tanto em ambiente seco como em água deionizada em estufa a 37°C . Para os ensaios de

RPE, foram confeccionadas 3 amostras, para cada condição, sendo que o armazenamento, em função dos requisitos de leitura do equipamento, foi a seco. A análise dos resultados mostrou que: 1) para os grupos armazenados em ambiente seco, de ambos os materiais avaliados, os valores de dureza foram maiores na superfície de topo que na base; 2) para os grupos onde os espécimes tiveram a superfície de topo armazenada em contato com a umidade, os valores de dureza nessa superfície foram menores que na de base, devido à absorção de água, característica intrínseca do material resinoso; 3) independente da técnica de fotoativação, os valores de dureza aumentaram em função do tempo decorrido após a fotoativação; 4) em todas as condições examinadas, a resina Z100, apresentou sempre média de valores de dureza maior. Em relação ao número relativo de radicais livres, pode-se constatar que: 1) apesar de terem sido utilizados três diferentes tipos de fotoativação, esses forneciam a mesma quantidade de energia para os materiais, o que resultou em comportamentos sem diferenças estatísticas significantes no que diz respeito à liberação de radicais livres; 2) a resina Z100 apresentou, em todas as idades, e em todas as condições experimentais, maior quantidade de radicais livres que a resina Filtek Z250; 3) foi visível o decaimento do número de radicais livres nos dois materiais em função do tempo. A autora concluiu que, apesar de os materiais estudados apresentarem diferenças nos resultados em razão das diferenças de composição entre eles, houve correlação inversa entre a evolução da dureza superficial e o número relativo de radicais livres remanescentes, uma vez que, enquanto a dureza tende a aumentar em função do envelhecimento no intervalo de tempo avaliado, inversamente, a quantidade de radicais livres remanescentes apresentou queda do número.

Em 2002, Dunn & Bush compararam a eficiência de duas unidades fotoativadoras à base de LEDs (LumaCure e Versalux, ambas montadas com 7 LEDs e 150 mW/cm^2 de intensidade de luz) com duas unidades à base de lâmpada halógena (Optilux 400 e Optilux 501, com 900 mW/cm^2 e 300 mW/cm^2 , respectivamente). As intensidades de luz dos aparelhos foram verificadas

previamente e durante o experimento com radiômetro comercial (Demetron 100, Demetron Research Corp.). Através de teste de dureza Knoop (M-400-G2, LECO), três penetrações por superfície (topo e base), com carga de 100 gramas durante 10 segundos, foi avaliado o grau de polimerização de dois tipos de resinas compostas: uma híbrida (Z250) e outra de micropartículas (Renamel). Com cada resina foram confeccionados espécimes de 2 mm de espessura e 8 mm de diâmetro fotoativados por uma das unidades durante 40 segundos. A análise dos resultados demonstrou que, independente da unidade fotoativadora utilizada, a resina híbrida apresentou sempre valores mais altos de dureza. As unidades do tipo halógena propiciaram maiores valores de dureza que as unidades à base de LEDs, tanto na superfície de topo quanto na de base. Comparando-se todas as combinações de tipo de resina e luz, detectaram-se diferenças significantes para todas as superfícies, mas não para todas as porcentagens; ou seja, apesar de os valores de dureza de superfície para ambos os tipos de resina serem inferiores para as unidades à base de LED, em relação às de lâmpada halógena, os resultados da porcentagem (base/topo x 100) sozinhos não foram capazes de identificar isso. Os autores concluíram que seria conveniente a montagem de unidades fotoativadoras com mais LEDs ou com LEDs mais potentes, para assegurar adequada polimerização dos materiais resinosos.

Leonard *et al.* (2002) realizaram um estudo tendo por objetivo determinar a eficiência de duas unidades à base de LED (LumaCure e VersaLux) e outra com combinação LED/halógena (ZAP Dual Curing Light) para polimerização adequada de dois tipos de resinas compostas (Silux Plus [microfill], Z100 [híbrida]). Os pesquisadores utilizaram uma matriz com orifício de 8 mm de diâmetro por 2 mm de profundidade para preparar 5 espécimes para cada combinação de tempo de exposição, tipo de resina e unidade fotoativadora. Após 24 horas mediram a dureza Knoop (KH) de cada lado de cada espécime, calcularam a média e determinaram uma porcentagem de KH base/topo com o valor de, no mínimo, 80% para indicar uma polimerização satisfatória. Os resultados mostraram que para obter tal polimerização foram necessários os

tempos de exposição a seguir: para ZAP, 39 s (Z100) e 83 s (Silux Plus); para LumaCure, 53 s (Z100) e 10 s (Silux Plus); e para VersaLux, 61 s (Z100) e 131 s (Silux Plus). Os autores concluíram que as unidades à base de LED e a com combinação LED/halógena utilizadas nesse estudo necessitaram, para polimerizar adequadamente as resinas compostas híbrida e microfill, maiores tempo de exposição do que a maioria das unidades à base de lâmpada halógena.

Fan *et al.* (2002) verificaram a profundidade de polimerização de 21 resinas compostas (de várias cores e 5 diferentes marcas). Foi utilizada uma unidade fotoativadora à base de lâmpada halógena (Optilux 400, Demetron) ajustada para emitir intensidade de luz de 300 mW/cm² com comprimento de onda numa faixa de 400 a 515 nm. Os resultados mostraram que 13 resinas (62%) encontravam-se no padrão ISO para profundidade de cura (1,5 mm), enquanto seis, das oito resinas remanescentes, alcançaram esse padrão quando o tempo de irradiação recomendado pelo respectivo fabricante foi aumentado em 2 vezes. Os autores concluíram que unidades fotoativadoras com intensidade de luz de 300 mW/cm² parecem ser eficientes para polimerizar a maioria das resinas compostas, quando são usados tempos apropriados de irradiação que, em alguns casos, devem ser maiores que o recomendado pelos fabricantes.

Moore *et al.* (2002) avaliaram o espectro emitido por 3 unidades fotoativadoras à base de LED: CoolBlue (C), Versalux (V) e Freelight (FL), e a dureza superficial e a profundidade de polimerização de 9 resinas compostas: Point 4 (P4), Kerr; Tetric Ceram (TC), Ivoclar; Z250 (Z), 3M; Durafill (D), Kulzer; Heliomolar (HM), Ivoclar; Silux Plus (S), 3M; Flow-It (F), Jeneric-Pentron; Renew (R), Bisco e Micronew (M), Bisco. A unidade halógena Highlight (ESPE) foi usada como controle. Todas as unidades foram utilizadas no modo padrão com um tempo de exposição de 40 segundos. Os espectros emitidos foram medidos pelo espectrômetro Ocean Optics S1000. Quatro medidas de microdureza Knoop (200 g) foram feitas na superfície de topo e de base, em 3 corpos-de-prova com 2 mm de espessura, e a polimerização adequada ficou definida quando a razão dos valores de dureza base/topo fossem maiores que 80%. Testes de Dunnett foram

usados para comparar a dureza dos corpos-de-prova do grupo controle com aquela das amostras fotoativadas pelas unidades à base de LED. Os resultados mostraram que os espectros dos LEDs foram semelhantes e consistiam de um pico simples, em torno de 460nm, com variação de 30 nm para mais ou para menos. Por outro lado o espectro da unidade halógena estendeu-se de 380 a 530 nm com máxima muito ampla variando entre 420 e 500 nm. O espectro de absorção pela canforoquinona tem seu pico em torno de 468 nm com variação de 60nm para mais ou para menos. As resinas P4 e M, quando fotoativadas com LED, apresentaram uma dureza de superfície significativamente menor do que quando foi utilizada unidade halógena. Quando fotoativadas com a unidade halógena, uma profundidade de polimerização de 2 mm foi alcançada com a maioria das resinas, exceto D, H, S e F. A mesma profundidade de polimerização foi obtida pela resina Z quando fotoativada por qualquer uma das unidades de LED, pela R quando fotoativada por FL e pela M quando fotoativada por C. Os autores concluíram que com exposição de 40 s as unidades de LED não proporcionaram polimerização numa profundidade de 2 mm em 8 das resinas analisadas. Entretanto, quando fotoativadas com unidade halógena, o mesmo aconteceu com apenas 4 das resinas. Ainda segundo os autores, esses dados sugerem que maiores tempos de exposição podem ser necessários quando do uso dos LEDs.

Munoz *et al.* (2002) compararam o grau de polimerização de 3 marcas de resinas compostas, (Z250, 3M/ESPE; Esthet-X, L.D. Caulk/Dentsply e Point 4, Kerr, nas cores B1 e C4), utilizando para fotoativá-las uma unidade halógena (800mW/cm²) e outra à base de LED (375 mW/cm²). Os autores afirmaram que esta última apresenta a vantagem de ser portátil e gerar menos calor. Cada espécime foi confeccionado utilizando-se uma matriz com orifício de 6 mm de diâmetro por 6 mm de profundidade, colocada sobre uma placa de vidro, onde cada uma das resinas foi inserida e fotoativada por uma das unidades durante 40 s. A dureza Knoop imediata da superfície de topo das amostras foi medida por um aparelho Leco M-400 H1. Os espécimes foram então seccionados, polidos e as

medidas de dureza feitas a 0,5, 2,4 e 6 mm de profundidade. Os resultados demonstraram que, no geral, a unidade halógena produziu valores de dureza Knoop ligeiramente mais elevados do que a unidade de LED, exceção feita à Esthet-X na cor C4, na qual os valores proporcionados pelo LED foram maiores. Todos os materiais tiveram valores de dureza Knoop de 50 ou mais numa profundidade de 2 mm, com exceção da Point 4 na cor C4 que teve a menor profundidade de polimerização. Os autores afirmam que a unidade de LED, com menos da metade da potência da unidade halógena foi capaz de produzir profundidades de polimerização aceitáveis para todos os compósitos.

Nomoto & Hirano (2002) avaliaram a eficiência de 3 diferentes fontes de luz na polimerização das resinas compostas Clearfil AP-X (Kuraray), Z100 e Z250 (3M). As unidades fotoativadoras testadas foram: 1) arco de plasma (Apollo 95E Elite, 1027 mW/cm², DMD) por 3, 6 e 9 segundos; 2) LED (LuxOMAX , 98 mW/cm², AKEDA dental) por 40 e 60 segundos; e 3) halógena (NEW Light VL II, 377 mW/cm², GC) por 20 segundos. O grau de conversão foi calculado através das variações do número de duplas ligações, em diferentes profundidades, observadas por meio do espectro de transmissão por infravermelho da resina, através do aparelho FTIR equipado com uma unidade microscópica. Os autores concluíram que os tempos de irradiação necessários para se obter grau de conversão comparável ao da unidade halógena por 20 segundos foram: 6 segundos para o arco de plasma e 60 segundos para o LED. O comprimento de onda da luz emitida pela unidade halógena teve amplitude entre 400 e 500 nm, enquanto o comprimento de onda da luz emitida pelo arco de plasma e pelo LED teve uma amplitude mais adequada para a polimerização, entre 450 e 490 nm.

Em 2002, Tarle *et al.*, avaliaram o grau de conversão e o aumento de temperatura dos compósitos Filtek Z250 – 3M, Tetric Ceram – Vivadent e Pertac II – ESPE, quando fotoativados pelas fontes de luz LED, arco de plasma e luz halógena. O grau de conversão e o aumento de temperatura foram mensurados com espectroscopia de Fourier (FTIR) e multímetro digital (Metex,M-3850D). Os resultados revelaram valores do grau de conversão significativamente maior na

fotoativação convencional, enquanto o aumento de temperatura foi significativamente menor quando os LED e arco de plasma foram usados.

Em um trabalho de revisão de literatura, Santos *et al.*(2002) discutiram a fotoativação das resinas compostas. Afirmaram que nos últimos 30 anos, os dentistas utilizaram fontes de luz ultravioleta e lâmpada halógena para fotoativar resinas compostas e, que atualmente, os aparelhos à base de lâmpada halógena (quartzo tungstênio halogênio – QTH) são os tradicionalmente utilizados para a polimerização desses materiais. No entanto, a maior parte da energia luminosa produzida pela fonte de QTH é de raios infravermelhos (95%), os quais são responsáveis pela produção de calor. Para reduzir os raios indesejáveis, são utilizados filtros nos aparelhos, afim de que os raios produzidos fiquem restritos à faixa de luz visível (5%), com o comprimento de onda na faixa de 400 a 500 nm, responsável pela ativação da canforoquinona (CQ). O filtro é o componente mais caro do aparelho e degrada-se com o uso, deixando passar mais raios infravermelhos, gerando aquecimento do dente e da gengiva, podendo causar prejuízo tecidual e desconforto para o paciente. A vida útil da fonte de QTH pode alcançar até 40 horas de uso, e a utilização de um radiômetro é importante para avaliar a potência da emissão de luz. Mais recentemente, surgiram novos aparelhos fotoativadores com outros tipos de fontes de luz, como a de arco de plasma de xenônio, de alto potencial elétrico (2400 mWcm^2 , numa faixa de 450 a 500 nm), cujo espectro de energia é mais amplo, incluindo a geração de raios infravermelhos, ultravioleta e luz visível. Outro tipo de fonte de luz usada é a de laser de argônio, que produz fótons que permanecem sempre na mesma frequência e não divergem, o que permite uma grande concentração de energia numa pequena área, tem baixa capacidade de produzir raios infravermelhos, o que gera menos calor para o dente. Com essa diversidade de fontes geradoras de energia, torna-se necessário que os fabricantes informem o tipo de fonte de luz, a faixa do espectro do comprimento de onda e os ciclos de fotoativação oferecidos pelos aparelhos, acontecendo o mesmo com as resinas compostas, pois, apesar de a canforoquinona ser o fotoiniciador mais comum, outros tipos podem ser

utilizados e podem não corresponder ao mesmo espectro de onda oferecido pelo aparelho. Os autores também se referem à quantidade de energia necessária para fotoativar a resina composta, pois já se comprovou que diferentes marcas de resina composta necessitam de valores distintos de energia para obter a sua polimerização ideal, obtendo assim uma ótima taxa de conversão, fator importante para as propriedades finais da restauração. Para o cálculo dessa energia necessária deve-se multiplicar a potência da fonte de luz (mW/cm^2) pela duração do tempo de irradiação, em segundos, sendo expressa em Joules/ cm^2 (J/cm^2). Os autores ainda sugeriram que as resinas compostas apresentem em suas embalagens a energia ideal para a sua ativação, bem como a faixa do comprimento de onda necessária para ativar o iniciador.

Hofmann *et al.* (2002), em estudo comparativo entre as unidades de fotoativação LED ($320 \text{ mW}/\text{cm}^2$) e luz halógena ($800 \text{ mW}/\text{cm}^2$), mediram a dureza Knoop, na superfície e na base das amostras com 1,5 mm de espessura. Além destas duas intensidades, um equipamento LED com $160 \text{ mW}/\text{cm}^2$ foi avaliado. As resinas Herculite XRV, Filtek Z250 e Definite foram irradiadas durante 40 segundos no modo contínuo e gradual exponencial (*ramping*). A luz halógena e o LED com $320 \text{ mW}/\text{cm}^2$ proporcionaram valores de dureza Knoop similares para as resinas Herculite XRV e Filtek Z250. A resina composta Definite apresentou dureza Knoop inferior quando fotoativada pelo LED. Este resultado foi atribuído à presença, em sua composição, de outro fotoiniciador, além da canforoquinona, cujo espectro de absorção de luz se encontra em uma faixa abaixo da emitida pelo LED. Em relação à contração de polimerização, foi observado um rápido aumento na velocidade com uso da luz halógena no modo contínuo, seguida pelo LED mais intenso e pelo mais fraco. O modo gradual exponencial diminuiu a velocidade da contração. A tensão de contração após 60 minutos também foi maior com a luz halógena. O aumento de temperatura durante a polimerização com LED foi inferior ao da luz halógena.

Santos (2003) avaliou a profundidade de polimerização do compósito Z 250, submetido a duas fontes de ativação, através do grau de conversão

polimérica, analisado por meio de espectroscopia de micro-Raman, e do número de microdureza Knoop. Foi avaliada também a correlação entre os dois métodos. Foram utilizadas duas unidades de fotoativação: uma convencional de lâmpada halógena (Optilux 401- Demetron) e outra de LED (Ultraled - Dabi Atlante). Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de uma matriz metálica com dimensões de 4,0 x 4,0 x 5,0 mm. O compósito (Z 250 - 3M ESPE) foi inserido na matriz em bloco único e ativado por 40 segundos (n = 5). Após armazenagem em ambiente escuro e seco (24 horas / 37°C), os espécimes foram levados ao Espectrômetro de micro-Raman, onde foram realizadas varreduras na superfície irradiada e a 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 mm de profundidade. Também foi feita uma análise com espectroscopia Raman do compósito não polimerizado, para que fosse possível quantificar o grau de conversão. As mesmas amostras foram submetidas a teste de dureza Knoop na superfície irradiada, a cada 0,5 mm até a profundidade de 5,0 mm. Os resultados mostraram que ocorreram quedas tanto nos valores do grau de conversão como no número de dureza Knoop à medida que aumentou a profundidade. A análise estatística dos dados evidenciou forte correlação entre as duas metodologias avaliadas, independente da fonte de fotoativação empregada.

Antunes *et al.* (2003) avaliaram a influência do tipo de unidade fotoativadora, halógena e LED, na dureza de duas resinas compostas (A110 e Z250, 3M). Para a confecção dos espécimes foi utilizada uma matriz de aço com perfurações padronizadas e um tempo de fotoativação de 40 s. As resinas foram inseridas em incremento único e fotoativadas utilizando aparelhos convencionais [XL3000, 3M a 550 mW/cm² (XL) e Jetlite 4000, JMorita a 1200 mW/cm² (JL)] ou LEDs [Oplight LD, Gnatus (OL) e Light 3000, Clean Line (LI)], resultando nos seguintes grupos (n=10): A1- A110+XL; A2- A110+JL ciclo constante; A3- A110+JL ciclo modulado; A4- A110+OL; A5- A110+LI; Z1- Z250+ XL; Z2- Z250+JL ciclo constante; Z3- Z250+JL ciclo modulado; Z4- Z250+OL; Z5- Z250+LI. A dureza Vickers da superfície foi avaliada com um microdurômetro (FM-700, Future-Tech), aplicando-se uma carga de 50 gf por 10 s. Os testes de ANOVA e

Tukey foram utilizados para cada tipo de resina, obtendo-se valores de $p=0,00$, para ambos os materiais. As médias ($\pm dp$) para a A110 foram: A5: 25,7 ($\pm 1,7$); A4: 31,3 ($\pm 0,9$); A1: 36,7 ($\pm 1,6$); A3: 38,0 ($\pm 1,9$); A2: 38,5 ($\pm 1,9$); para Z250: Z5: 43,2 ($\pm 5,9$); Z4: 61,2 ($\pm 2,4$); Z1: 67,3 ($\pm 1,2$); Z2: 71,4 ($\pm 3,3$); Z3: 75,4 ($\pm 2,0$). Os autores concluíram que, para ambas as resinas, os aparelhos LEDs resultaram em menores valores de dureza que os convencionais. Para a A110, as variações na intensidade de luz entre XL e JL não resultaram em diferenças na dureza. Para a Z250, o aparelho JL em ciclo modulado promoveu maior dureza que o aparelho XL.

Caldas *et al.* (2003) avaliaram a dureza Knoop da resina composta Filtek Z250 quando fotoativadas por diferentes fontes de luz, variando também a distância entre a ponta do aparelho e a superfície do material restaurador entre 0mm, 6mm e 12 mm. As unidades de fotoativação utilizadas foram: 1) XL 1500/3M com 430 mW/cm² por 20 s no modo de emissão contínua; 2) Elipar Trilight/ESPE por 40 s no modo de irradiação gradual exponencial durante os primeiros 16 segundos adicionados de 24 segundos com a intensidade de 800 mW/cm² e 3) Apollo 95E (arco de plasma) por 3 segundos. A análise dos dados de dureza, medidos no durômetro HMV 2 (Shimadzu), 24 horas após a fotoativação revelou que, para o equipamento Elipar Trilight, a dureza Knoop da resina diminuiu à medida que a ponta distanciava do corpo-de-prova. Com o XL 1500, a dureza Knoop diminuiu significativamente com o aumento da profundidade da leitura e o uso do Apollo 95E promoveu a diminuição da dureza para os dois fatores de variação.

Price *et al.* (2003) verificaram a dureza das resinas compostas Z250, Supreme, Esthet-X, Heliomolar e Tetric Ceram, polimerizadas por equipamentos com alta intensidade: FreeLight 2/3M-ESPE (LED) e TriLight/3M-ESPE (luz halógena). Para este estudo foram preparadas cavidades na superfície oclusal de dentes humanos, com 4 mm de profundidade. As mensurações da dureza Knoop foram realizadas 15 minutos após a fotoativação até a profundidade de 3,5 mm. Na profundidade de 3 mm, o aparelho FreeLight (LED) mostrou ser mais eficiente

que a luz halógena. O LED, quando usado com 50% do tempo recomendado pelo fabricante teve um comportamento similar ao da luz halógena com 100% do tempo preconizado. Os autores apontaram algumas vantagens da tecnologia LED em relação à luz halógena, entre elas: a maior eficiência na conversão da eletricidade em luz; a menor produção de calor e um período de vida de milhares de horas, em contraste as 30-50 horas de durabilidade das lâmpadas halógenas convencionais, além da perda do desempenho desta última com o tempo de uso.

Bosquioli (2003) verificou a resistência à tração de uma resina composta fotoativada por diferentes fontes de luz e por diferentes tempos de irradiação. Foi utilizado um aparelho de lâmpada halógena (Curing Light 2500, 3M, com intensidade de luz de 670 mW/cm^2) e outro do tipo LED (Ultraled, Dabi-Atlante, com intensidade de 130 mW/cm^2). Para confecção dos corpos de prova utilizou-se um conjunto de matrizes de aço inoxidável, composto de duas partes, sendo que cada parte apresentava um orifício central cônico com 8,0mm de diâmetro maior e 6,0 mm de diâmetro menor e 1,0 mm de espessura. A resina composta utilizada foi a Z-250 (3M/ESPE) nas cores A1 e A4. Foram confeccionados oito grupos de 10 espécimes, sendo quatro grupos fotoativados com lâmpada halógena e quatro com LED. Para lâmpada halógena, dois grupos com resina Z-250 na cor A1, com tempos respectivos de 20 s (G1) e 40 s (G2) e dois grupos com cor A4, com tempos de 40 s (G3) e 80 s (G4). Da mesma forma para o LED: dois grupos com a resina Z-250 na cor A1, com tempos de 20 s (G5) e 40 s (G6) e dois grupos na cor A4, com tempos de 40 s (G7) e 80 s (G8), respectivamente. Dez minutos após a obtenção dos espécimes, o conjunto foi adaptado a um dispositivo especial para permitir o acoplamento junto a uma máquina de ensaios universal e a realização do ensaio de tração, numa velocidade de movimento de 0,5 mm/min. Os valores obtidos foram submetidos à análise de variância ANOVA a dois critérios (fonte de luz e tempo de fotoativação). As médias e desvios-padrão (Kgf) foram respectivamente: G1=14,13±2,03; G2=13,85±2,46; G3=14,21±2,31; G4=14,42±1,97; G5=12,95±1,09; G6=13,46±2,02; G7=12,99±1,29; G8=14,25±2,8. A autora concluiu que: 1) O

aparelho LED foi tão efetivo na polimerização da resina composta quanto o aparelho de lâmpada halógena; 2) o aumento do tempo de fotoativação não exerceu influência na resistência à tração da resina composta, independente do tipo de aparelho fotoativador e da cor do material; 3) a resistência à tração para a resina Z250 nas cores A1 e A4 não foi afetada pela variação do tempo de fotoativação e pelo tipo de fonte de luz, halógena e LED.

Barros *et al.* (2003) avaliaram a dureza superficial e tração diametral em uma resina composta restauradora (Z250, 3M/ESPE), fotoativada por 4 diferentes modos e imersos em dois diferentes meios. Corpos-de-prova foram, aleatoriamente, preparados e polimerizados de acordo com os grupos experimentais (C- convencional: 550 mW/cm²/30s; S- “soft start”: 300 mW/cm²/10s + 550 mW/cm²/20s; A- alta intensidade: 1.060 mW/cm²/10s; e P- “pulse delay”: 550 mW/cm²/1s + 60 s sem luz + 550 mW/cm²/20s) e armazenados por 24 horas em um dos dois meios de imersão (água e etanol). Após a confecção dos corpos-de-prova, realizaram-se os testes de dureza (D) e tração diametral (T). Os resultados (ANOVA e teste de Tukey mostraram que, para T, não houve diferenças estatísticas significativas para os modos de fotoativação estudados, porém as amostras imersas em etanol apresentaram valores menores de T, com diferença estatística para as amostras imersas em água, independente do modo de fotoativação. Para o teste de D, C apresentou maior valor, com diferenças estatísticas para P, nos grupos imersos em água. Para as amostras imersas em etanol, C e P apresentaram maiores médias de D, diferentes estatisticamente de A. Os autores concluíram que o modo de polimerização convencional pode estar associado a altos valores de dureza e tração diametral, e o meio de imersão pode alterar as propriedades físicas dos compósitos.

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 homoganeamente, 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 absorção 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 lâmpada halógena, como produção de calor durante a utilização e degradação do bulbo, refletor e filtro durante o tempo por operar em altas temperaturas. Porém resinas fotoativadas com LED possuem menos ligações cruzadas do que as fotoativadas com lâmpada halógena.

Vandewalle *et al.* (2004) analisaram a integridade marginal e a microinfiltração na margem gengival e oclusal de cavidades Classe II restauradas com a resina Z250/3M submetidas à estresses térmico e mecânico. O grau de conversão e a dureza Knoop foram medidos após o emprego de crescente densidade de energia (4, 6, 8, 12 e 24 J/cm²). Os resultados mostraram que o uso de apenas 4 J/cm² resultou em um menor grau de conversão e levou à falha e dissolução nas margens com perda da integridade marginal. Os resultados de dureza mostraram haver uma relação direta entre densidade e dureza. Baseado nos resultados foi determinado um limite mínimo aceitável para a manutenção da qualidade na margem gengival, em restaurações com a resina Z250. Estes valores corresponderam a 73% da dureza máxima, 70% do módulo e resistência à flexão e à 80% do grau de conversão. As tensões térmicas e mecânicas não produziram efeitos significantes na margem gengival.

Felix *et al.* (2004) compararam uma unidade fotoativadora à base de LED de 3ª geração (Freelight 2, 3M/ESPE) com outra halógena (Trilight, 3M/ESPE) para determinar qual seria melhor na fotopolimerização de diversas resinas compostas (Z250 A2 e B0,5, Filtek Supreme A2B e A2D, Esthet-X A2B e A2O, Heliomolar A2 e 110T, Tetric Ceram A2 e Bleach XL). Preparos classe I, com 4mm de profundidade, foram confeccionados em molares humanos extraídos, preenchidos com uma das resinas e irradiados por uma das unidades fotoativadoras nas distâncias de 2 ou 9 mm durante 100% ou 50% do tempo recomendado pelo fabricante. A dureza Knoop das amostras foi medida 15 minutos após a irradiação até uma profundidade de 3,5 mm. A análise dos resultados mostrou que as diferentes unidades de fotoativação e os tempos de irradiação não tiveram um efeito consistente sobre todas as resinas a 2 mm e a 9 mm. Nas duas distâncias analisadas, a unidade de LED, usada pelo tempo recomendado, foi consistentemente melhor ($p < 0,01$). Quando irradiadas pelo LED no tempo recomendado, todas as resinas demonstraram dureza Knoop a 2 mm maior que 80% da dureza máxima obtida para aquela resina; três resinas (Z250 A2, Tetric Ceram A2 e Bleach XL) atingiram dureza Knoop maior que 80% de suas durezas máximas numa profundidade de 3,5 mm. Os autores concluíram que a unidade de LED, quando usada pelo tempo de irradiação recomendado, polimerizou todas as resinas tão bem quanto ou até melhor do que a halógena numa profundidade de 3,5 mm.

Ishizak & Fukushima (2004) avaliaram o efeito de uma unidade fotoativadora LED de alta potência, Elipar Freelight 2 (FL2, 830 mW/cm², 3M/ESPE), na profundidade de polimerização, contração de polimerização e formação de fendas marginais em esmalte. Utilizaram para comparação uma unidade halógena XL3000 (XL, 700 mW/cm², 3M/ESPE). Foram analisadas as características de polimerização das resinas Filtek Z250 (Z250, 3M/ESPE) e Clearfil AP-X (AP-X, Kuraray). As profundidades de cura das amostras ($n=3$ /grupo) foram medidas através de teste de dureza Knoop. A contração linear de polimerização foi determinada através do método do banho de mercúrio após a

fotoativação com FL 2 (n= 5). Para medir as fendas marginais em esmalte, foram confeccionadas cavidades cilíndricas nas superfícies bucal ou lingual de pré-molares extraídos, condicionadas com Photo Bond (Kuraray), preenchidas com AP-X e fotoativadas com FL 2 por 30 segundos, polidas imediatamente ou depois de 7 dias (n=3/grupo) e avaliadas em um estereoscópio. Os resultados mostraram que as profundidades de cura produzidas pela unidade FL 2, com tempos de 20 e 40 segundos de irradiação, foram comparáveis àquelas produzidas pela XL. Os valores de contração linear de polimerização da resina AP-X foram significativamente menores que aqueles da Z250. Em cada grupo das resinas, não houve diferença significativa na contração de polimerização entre os tempos de fotoativação. O polimento realizado após 7 dias demonstrou porcentagem significativamente menor de fendas que no polimento imediato. Os autores concluíram que a unidade à base de LED de alta potência demonstrou características de fotoativação comparáveis às da unidade halógena.

Meniga *et al.* (2004) avaliaram o grau de conversão em amostras de compósito fotoativadas por diferentes unidades à base de LED. Cinco espécimes, com 10mm de diâmetro, de resina composta restauradora Filtek Z250 (3M/ESPE), de cor A3, foram fotoativadas durante 40 segundos por Lux-o-Max (Akeda Dental), e 20 segundos por Elipar Freelight I (3M/ESPE), L.E.Demetron (Kerr) e uma unidade à base de lâmpada halógena Elipar Trilight (3M/ESPE) como controle. O grau de conversão foi medido através de espectroscópio FTIR na superfície de topo e a 2 mm de profundidade. Os resultados mostraram que a unidade à base de LED de baixa intensidade de luz (1ª geração) proporcionou uma porcentagem de conversão de 52,86% (dp=1,59) na superfície de topo e de 46,91% (dp=5,21) a 2 mm de profundidade. Com o LED de média intensidade a conversão foi de 58,31% (dp=0,11) e 54,04% (dp=1,27). Os resultados com LED de alta intensidade de luz foram de 66,55% (dp=5,76) e de 66,72% (dp=4,8) a 2,0 mm de profundidade, o que é melhor que o controle - 63,51% (dp=2,29) e 54,61% (dp=2,23), respectivamente. Os autores concluíram que, para a obtenção de um resultado clinicamente aceitável com as unidades fotoativadoras à base de LED

de baixa intensidade, o tempo de irradiação tem que ser prolongado, mesmo com o uso de resina composta altamente fotossensível. Quanto à unidade de média intensidade, esta proporcionou grau de conversão maior, quando comparada à unidade de baixa intensidade, especialmente a 2 mm de profundidade. Com a unidade à base de LED de alta potência não houve diferença no grau de conversão na superfície de topo e a 2 mm de profundidade, no entanto o estresse de contração de polimerização pode ser elevado.

Bala *et al.* (2005), compararam a efetividade do LED e da luz halógena no grau de conversão de diferentes resinas compostas (duas híbridas – Esthet-X, Filtek Z2500 e quatro condensáveis – Filtek P60, Prodigy Condensable, Surefil, Solitarie) e um cerômero (Admira). O grau de conversão da resina utilizando LED ou luz halógena variou aproximadamente de $61,1 \pm 0,4$ a $50,6 \pm 0,6\%$ e de $55,6 \pm 0,7$ a $47,4 \pm 0,5\%$, respectivamente. O grau de conversão da resina foi significativamente maior com o LED quando comparado com a luz halógena, com exceção dos Surefil e Filtek Z250 que não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as fontes de luz. O desempenho do LED utilizado nessa pesquisa promoveu irradiação suficiente para polimerizar as resinas (híbridas, condensáveis e cerômero) a 2 mm de profundidade, com tempo de fotoativação de 40 s.

Aguiar *et al.* (2005) estudaram a polimerização e a dureza da resina composta Z250-3M ESPE. Foram avaliados cinco espécimes de resina aleatoriamente preparados e divididos em nove grupos experimentais ($n = 5$) polimerizados em três distâncias de fotoativação (2, 4 e 8 mm) e em três tonalidades de resina (A1, A3.5, e C2). Todas as amostras foram polimerizadas com luz contínua de 550 mW/cm^2 . Após 24 horas, as medidas de dureza Knoop foram verificadas nas superfícies superiores e inferiores da amostra, com carga de 25 g por 10 s. Cinco cortes foram efetuados na superfície de cada amostra. Os resultados mostraram que a ativação da base da resina a 2 mm e 4 mm apresenta valores significativamente mais elevados de dureza do que as amostras ativadas a 8 mm. A resina de cor A1 apresentou valores maiores de dureza e foi

estatisticamente diferente da cor C2. A resina de cor A3.5 não apresentou diferença estatística em relação a A1 e C2. No topo não houve nenhuma diferença estatística significativa entre as distâncias para fotoativação. Para todas as circunstâncias experimentais, o topo mostrou valores maiores de dureza quando comparado com a base. Concluiu-se que a distância e a tonalidade da resina são fatores importantes a serem considerados na obtenção de polimerização adequada.

Correr (2005) avaliou a densidade energética sobre a dureza Knoop e a influência da intensidade de luz relacionada ao tempo de exposição dos compósitos durante a fotoativação. Foi avaliado o efeito do aumento da densidade energética pelo maior tempo de exposição, mantendo-se a mesma intensidade de luz, sobre a dureza Knoop dos compósitos Z250 e Esthet-X, fotoativados com luz de lâmpada halógena (QTH – 700 mW/cm²) - XL2500, luz emitida por diodo (LED - 830 mW/cm²) – Ultrablue Is ou Arco de Plasma de Xenônio (PAC) – Apollo 95E. Os resultados mostraram que o aumento da densidade energética produziu maiores valores de dureza Knoop quando utilizado LED ou PAC. Para QTH não houve diferença significativa. Em relação às fontes de luz, o PAC apresentou menores valores de dureza Knoop quando comparado ao LED e QTH, que não diferiram entre si. Menores valores de dureza Knoop foram encontrados em maiores profundidades dos compósitos. A análise da relação entre intensidade de luz *versus* tempo de exposição mostrou que independente do compósito e da fonte de luz, os grupos fotoativados por intensidade de luz e tempos de exposição intermediários, apresentaram as maiores médias de dureza Knoop em camadas profundas. A relação dureza da base/dureza da superfície mostrou que o compósito Z250 apresentou adequada polimerização até 3 mm quando foi fotoativado por QTH e LED, e até 2 mm para PAC. O compósito Esthet-X apresentou adequada polimerização até 3 mm quando foi fotoativado por luz halógena e até 2 mm para LED e PAC.

Obici *et al.* (2005) avaliaram o grau de conversão por espectroscopia e dureza Knoop do compósito Z250, usando sete métodos de fotoativação: luz

contínua (800 mW/cm²K40 s); luz exponencial (0-800 mW/cm²-40 s); luz intermitente (2 s-600 mW/cm²; 2 s sem luz por 80 s); luz gradual (10 s-150 mW/cm²; 30 s-650 mW/cm²); PAC (1320 mW/cm² K3 s); LED1 (100 mW/cm²-40 s); LED2 (350 mW/cm²K40 s). A dureza Knoop foi verificada na superfície e na profundidade de 1 e 2 mm. Os resultados mostraram que não houve nenhuma diferença estatística nos valores do grau de conversão entre os métodos de fotoativação. O valor mais elevado de dureza Knoop foi obtido para a luz contínua, seguido pelo gradual, exponencial e o LED2 sem diferença estatística entre eles. Para a luz intermitente, nenhuma diferença foi observada quando comparada com a luz gradual; exponencial, LED2 e PAC. A dureza Knoop para PAC foi menor que aqueles observados na luz gradual e exponencial. O LED1 demonstrou a mais baixa dureza Knoop, sendo estatisticamente diferente dos demais métodos.

Price *et al.* (2005) constataram a superioridade do LED (Freelight 2) em relação à luz halógena (Trilight) ao avaliar o seu desempenho na polimerização de 10 resinas compostas, comparando-o a luz halógena. As seguintes conclusões foram registradas: na profundidade de 3 mm, o LED quando usado à distância de 2 mm da superfície do compósito produziu uma dureza maior que a luz halógena; com o LED as resinas Z250, Tetric Ceram cor A2 e Tetric Ceram Bleach XL mantiveram a dureza Knoop, até a profundidade de 3,5 mm, superior a 80% da dureza máxima registrada na superfície. O LED quando utilizado com apenas a metade do tempo indicado pelo fabricante não foi diferente da luz halógena com o tempo total recomendado. Além destes resultados, os autores apontaram alguns erros em trabalhos científicos, como a insuficiente informação sobre os aparelhos fotoativadores empregados; a tentativa de determinar o desempenho avaliando apenas um equipamento; comparações inadequadas entre equipamentos e compósitos e condenaram o uso de moldes plásticos ou metálicos nos testes, por produzirem efeitos que não ocorrem nos dentes. Em relação aos testes de dureza, os autores revelaram maior confiabilidade aos testes de dureza Knoop, em detrimento de outros métodos, devido este ser mais sensível para determinar a

profundidade de polimerização ou para distinguir a eficácia de diferentes fontes de luz, além de sua forte correlação com o grau de conversão de monômeros.

Schneider *et al.* (2006) avaliaram o grau de conversão de sete resinas compostas irradiadas por luz halógena, LED e plasma de xenônio. Após 24 horas do procedimento de fotoativação, metade dos espécimes foi submetida à análise por espectroscopia e a outra metade foi analisada após um mês. A fotoativação ocorreu em três protocolos: 1) fotoativação recomendada pelo fabricante 2) tempo total de densidade de energia de cada unidade; 3) densidade de energia com comprimento de onda de 450-490 nm. Os resultados foram submetidos aos testes ANOVA e Tukey (5%). Após 24 horas o segundo protocolo de irradiação produziu grau similar de conversão entre os fotoativadores. Após 1 mês, os valores da conversão foram estatisticamente mais elevados para 20 s de exposição com luz halógena (aumentada de 46,78 a 49,66%), 20 s de LED (46,20 a 51,15%), 30 s com exposição LED (48,29% a 50,68%) e 3 s de exposição com luz de plasma de xenônio (42,57 a 51,39%). O grau inicial de conversão e pós-polimerização depende das condições de fotoativação.

Franco *et al.* (2007) avaliaram a influência de diferentes unidades de fotoativação na força adesiva e na microdureza da resina composta Filtek Z250 (3M/ESPE). Foram utilizadas como fontes de fotoativação a luz halógena (Curing Light 2500 - 3M/ESPE; CL) e duas unidades de LED (Ultraled - Dabi/Atlante; UL; Ultrablue IS - DMC; UB3 e UB6). Foram avaliadas diferentes intensidade de luz (670, 130, 300, 600 mW/cm²) e tempos de fotoativação (20, 40 e 60 s). Um total de 10 espécimes foi utilizado no teste de dureza de Knoop e os resultados submetidos à ANOVA e Tukey. Quanto ao desempenho individual das unidades de fotoativação, houve similaridade na resistência a tensão com 20 a 40s de exposição e com 60 s de exposição, a resistência a tensão foi mais elevada. A luz halógena apresentou maiores valores de dureza quando comparada às unidades LED. Para todas as unidades de fotoativação, a variação do tempo de exposição não afetou a dureza da resina. Irradiações de baixa potência necessitam de maior

tempo de ativação para produzir efeito similar aos obtidos com maior irradiação em alta potência.

Hubbezoglu *et al.* (2007) verificaram a dureza da superfície de quatro tipos de resina composta (Filtek Supreme; Durafil US; solitaire 2 e Gradia Direct), em 10 espécimes de 2 mm de espessura e 4mm de diâmetro para cada compósito, foram polimerizados com luz halógena, LED ou arco de plasma. A avaliação da microdureza foi efetuada no topo e na base utilizando teste Vickers. Além disso, as morfologias do topo irradiadas com luz de diodo azul foram observadas microscopicamente. Os resultados indicaram que os compósitos fotoativados com luz halógena ou LDC apresentaram valores maiores de dureza e a polimerização com o arco de plasma apresentou os mais baixos valores de dureza para todos os materiais. Entre os materiais testados, a resina composta Filtek nanoparticulada apresentou valores maiores de dureza em todos os protocolos de polimerização.

Santos *et al.* (2007) analisaram a profundidade de polimerização, o grau de conversão e a dureza Knoop do compósito Filtek Z250 (3M ESPE) de 4x4 mm e 5 mm de profundidade, ativados por LED (Ultraled-Dabi Atlante) e lâmpada halógena (QTH, Optilux 401-Demetron). Após 24 horas de armazenamento em 37°C, a dureza Knoop e o grau de conversão foram medidos na superfície irradiada e em cada milímetro de profundidade. O grau de conversão foi determinado usando espectroscopia de micro-Raman. Os espécimes fotoativados com lâmpada halógena apresentaram diminuição uniforme da dureza até 4 mm de profundidade. Além de 4 mm, a diminuição foi maior. Com fotoativação LED a deterioração uniforme foi observada somente até 2 mm, sendo mais rápida além de 3 mm de profundidade. A profundidade de polimerização medida pelo teste micro-Raman revelou que o grau de conversão foi similar à dureza em ambos os protocolos de fotoativação. Uma forte regressão linear entre a dureza e o grau de conversão, incluindo os dois protocolos foi estabelecida com $R^2 = 0,980$.

Gonçalves *et al.* (2007) avaliaram o comportamento de uma resina composta submetida a diferentes protocolos de fotoativação (irradiação elevada

contínua, irradiação baixa contínua e irradiação *pulse-delay* (6, 12, e a 24 J/cm²). Após 48 horas, as diferenças no grau de conversão foram mínimas e nenhuma diferença na força foi detectada entre os espécimes armazenados na água. O armazenamento em álcool etílico causou reduções significativas de força na irradiação *pulse-delay* e na irradiação baixa, com 6 J/cm². Os autores sugeriram que quando são utilizados irradiação, ou, *pulse-delay*, uma exposição radiante relativamente elevada é necessária para originar uma estrutura de rede do polímero similar àquela obtida pela irradiação elevada contínua.

Rodrigues Neto *et al.* (2007) compararam o grau de conversão das resinas compostas Filtek Z250® e Filtek P60® polimerizadas com duas unidades de luz fotoativadoras, sendo uma de luz halógena (Degulux®) e um LED (Ultrablue IS®). Foram confeccionados 20 corpos-de-prova de cada resina composta, distribuídos aleatoriamente em quatro grupos, de acordo com cada aparelho de luz testada e então submetida à análise por espectrofotometria de infravermelho para determinação porcentual do grau de conversão. Os resultados obtidos demonstraram que não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de grau de conversão das duas resinas testadas e o aparelho Ultrablue IS® apresentou resultados de conversão de monômeros semelhantes ao aparelho de luz halógena Degulux.

Ganime *et al.* (2008) avaliaram a influência das fontes fotoativadoras LED pulsante (LD13 - GGDent) ou halógena (Optilux 501 - Demetron) na microdureza Knoop da resina composta Z250 (3MESPE) na cor A3, em três profundidades distintas. Para tanto, foram confeccionadas 20 cavidades de classe I em terceiros molares humanos, separados em 2 grupos (n=10). As cavidades foram preparadas utilizando-se broca 245 (KG Sorensen) nas dimensões de 3 x 4 x 3 mm e as restaurações foram confeccionadas em três incrementos oblíquos, sendo a fotoativação de cada incremento realizada com 20 s em modo contínuo para fonte halógena ou 60 s para fonte LED (10 s em modo pulsante e 50 s em modo contínuo). Em seguida, as amostras foram armazenadas por sete dias em 100% umidade relativa na temperatura de 37°C ± 1. Após o período de

armazenagem, as coroas foram seccionadas no sentido méso-distal em cortadeira metalográfica. As raízes foram seccionadas logo abaixo da junção cimento-esmalte e perpendicularmente ao longo eixo do dente, sendo então descartadas. 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 25 gf durante 20 s. Foram realizadas 15 penetrações em cada hemicoroa, sendo 5 em cada profundidade estudada. Os dados foram transformados em número de dureza Knoop (KHN), submetidos à Análise de Variância e comparados pelo teste de Variação Múltipla de Tukey (5%). 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 (82,98), apresentando diferença estatística significativa com a fonte halógena (61,27). Pode-se concluir que a densidade de energia dos aparelhos influenciou nos resultados de dureza obtidos.

Schneider *et al.* (2008) avaliaram o grau de conversão (DC), a taxa máxima de polimerização (R_{pmax}), a dureza Knoop (KHN) e o amarelamento (b-valor) das resinas compostas formuladas com o fotoiniciador phenylpropanedione (PPD), canforoquinona (CQ), ou CQ/PPD em diferentes concentrações. As hipóteses testadas foram que (1) PPD ou CQ/PPD produziria menos R_{pmax} e amarelamento do que a CQ sozinha sem afetar a DC e a KHN, e (2) R_{pmax} , DC e KHN seriam relacionados diretamente com a densidade de força absorvida (PDabs). CQ/amina, PPD/amina e CQ/PPD/amina foram usados em concentrações baixas, intermediárias ou altas. A emissão da luz halógena e absorção do fotoinicador foi medida usando um espectrofotômetro Rp com calorimetria de exploração diferencial (DSC); DC foi avaliado com DSC e FTIR, e KHN com teste Knoop; a cor foi avaliada com um colorímetro. Os resultados, analisados pelos testes ANOVA e Student-Newman-Keul's, indicaram que o PDabs aumentou com a concentração do fotoinibidor e as amostras PPD

apresentaram valores mais baixos. DC máxima foi observada na concentração intermediária, quando Rpmax e KHN exigiram concentrações mais elevadas. A DC foi similar para todos os fotoindicadores, mas Rpmax foi mais baixo com PPD e CQ/PPD. PPD produziu o mais baixo valor de KHN. Um aumento do amarelamento foi observado na concentração do fotoindicador. PPD não apresentou redução do amarelamento em concentrações intermediárias e/ou elevadas, comparadas às formulações CQ. PDabs mostrou correlações significativas com DC, Rpmax e KHN. PPD ou CQ/PPD reduziram Rpmax em compostos experimentais sem afetar o DC. O uso de PPD não reduziu o amarelamento, mas reduziu KHN. DC, Rpmax e KHN foram dependentes da PDabs.

Dall'Magro *et al.* (2008) verificaram a resistência de união e a dureza Knoop do compósito Z250 (3M/ESPE) fotoativado com luz halógena (XL2500, 3M/ESPE), utilizando diferentes protocolos: modo contínuo alta intensidade (CH) (700 mW/cm²) por 20 s; modo contínuo baixa intensidade (CL) (150 mW/cm²) por 20 s; *pulse-delay* com 150 mW/cm² por 2(P2), 3(P3), 5(P5), 10(P10) ou 15(P15) segundos, com 1 minuto de espera, seguido por 700 mW/cm² por 20 s. Para o teste de união *push-out* (n= 10), os valores de resistência de união foram obtidos em máquina de ensaio universal Instron. Para o ensaio de dureza Knoop, os espécimes foram fotoativados com os mesmos protocolos utilizados no ensaio de resistência de união. As medidas de dureza foram realizadas em microdurômetro (Shimadzu) em 6 profundidades (topo, 1, 2, 3, 4 e 5 mm). Os dados foram submetidos à Análise de Variância e ao teste de Tukey em nível de significância de 5%. Os resultados mostraram que P5 e CL apresentaram valores de resistência de união estatisticamente maior a todos os grupos. Não houve diferença entre os grupos P2, P3, P10, P15 e CH. Para dureza Knoop, CH apresentou os maiores valores, estatisticamente superiores a P2 e CL até 4 mm. A partir de 3 mm, a dureza de todos os grupos foi inferior à dureza do topo. O tempo de exposição inicial para o modo *pulse-delay* pode influenciar a resistência de união e a dureza Knoop.

Borges *et al.*(2009) avaliaram o grau de conversão de quatro resinas compostas sob a influência de diferentes métodos de fotoativação. Foram utilizados os fotoativadores com luz halógena (400 mW/cm²) /40 s e LED (800 mW/cm²/ 20 s) em quatro compósitos na cor A3 (Suprafil (R&S; Natural Elegance (Henry Schein); Proclinic Composite PM (Madespa); e Filtek Z250 (3M ESPE). O compósito foi fotoativado aplicando a luz apenas no topo das amostras, tendo sido utilizado esmalte humano como material refletor. Após 24 horas de armazenagem no escuro e em meio seco, foram realizados testes de microdureza Vickers no topo e base dos espécimes. Os resultados foram analisados com ANOVA e teste t. Os valores de microdureza variaram entre 0,79 e 0,98. Para a luz halógena, o compósito Z250 obteve valor de microdureza estatisticamente superior ($p < 0,05$) aos demais compósitos. Com o LED não foi observada diferenças estatisticamente significativas ($p \geq 0,05$) entre os compósitos, com exceção do Suprafil que apresentou menor valor. Os autores concluíram que embora o Z250 tenha apresentado valor de microdureza maior, verificou-se correta polimerização de todos os grupos experimentais, com exceção do grupo Proclinic/halógeno (0,79). A utilização do LED a 800 mW/cm² permitiu reduzir o tempo de exposição.

Guiraldo (2009) avaliou a influência de diferentes cores de resinas compostas na transmissão de luz através do compósito e a diferença percentual de diminuição da dureza Knoop entre a base e o topo (PDD) e a densidade de ligação cruzada (DLC). Foram utilizados no estudo as resinas compostas restauradoras Filtek Z350 e Esthet X nas cores A1 e A3,5. Para a verificação da dureza Knoop, a irradiância da unidade fotoativadora (LCU) foi mensurada com medidor de potência Ophir Optrônicos (780 mW/cm²). Vinte espécimes foram feitos para cada cor. A irradiância da luz que passou através dos compósitos foi mensurada (n=10). A PDD do mesmo espécime foi calculada. A irradiância de luz que passou através do compósito cor A1 foi estatisticamente superior ao da cor A3,5 para ambos os compósitos. Para Esthet X, o valor de PDD da cor A3,5 foi estatisticamente maior que a cor A1. Entretanto, para o Filtek Z350 não houve diferença significativa ($p = 0,03035$). Diferentes resinas compostas influenciaram a

transmissão da luz e a PDD. Cores escuras influenciaram a transmissão de luz, mas não estão necessariamente correlacionadas com a PDD. Para a verificação da densidade de ligação cruzada, a irradiância da unidade fotoativadora (LCU) foi mensurada com medidor de potência Ophir Optrônicos (900 mW/cm²). Trinta espécimes foram confeccionados para cada cor. A irradiância da luz que passou através dos compósitos foi mensurada e a diferença na porcentagem de diminuição da dureza Knoop entre a base e o topo (PD) da mesma amostra foi calculada (n=10). A densidade de ligação cruzada foi calculada pelo amolecimento produzido pelo etanol, pelo decréscimo na dureza (n=10). A irradiância da luz que passou através do compósito na cor A1 foi estatisticamente superior que da cor A3, a qual também foi maior que da cor A3,5. A PDD da cor A3,5 foi estatisticamente maior que da cor A3, que também foi maior que a cor A1. Não houve diferença estatisticamente significativa na DLC. Cores escuras têm influência significativa na transmissão da luz através da resina composta e na dureza. Entretanto, a densidade de ligação cruzada não foi influenciada pelas cores mais escuras do compósito dental.

Jeong *et al.* (2009) avaliaram o efeito da polimerização na tonalidade da resina composta. Foram avaliados dureza, grau de contração e alteração da cor após a polimerização. Duas resinas compostas em quatro tonalidades diferentes foram utilizadas: compósito Z250 (Z2) nas tonalidades A3, A3.5, B3, e C3 e compósito Solitaire 2 (S2) nos tons A3.5, B3, e B4. Na análise da reflexão e absorção de luz, os compósitos Z2 e S2 mostraram curvas de distribuição similares na tonalidade, com as cores A3.5 para Z2 e A3 para S2 exibindo a maior e menor distribuição, respectivamente. De forma similar, os valores menores e maiores no coeficiente de dureza foram observados na cor A3.5 para Z2 e A3 de S2. Nenhuma diferença estatística foi encontrada no valor de contração após a polimerização do compósito Z2. Para a mudança da cor, os espécimes Z2 exibiram somente ligeira alteração ($\Delta E^* = 0.5-0.9$) após a imersão em água destilada por 10 dias, com exceção das cores A3 e A3.5. Os resultados sugerem

que o grau de polimerização das resinas compostas testadas foi ligeiramente afetado pela cor dos compósitos.

Saad (2009) investigou a influência do pré-aquecimento da resina composta anterior à fotoativação sobre as propriedades físicas e mecânicas, como: grau de conversão e dureza. As amostras foram fotopolimerizadas com unidade de luz halógena de quartzo-tungstênio (QTH) ou unidade de diodos emissores de luz azul (LED) por 40 s. As amostras de resina composta híbrida foram pré-aquecidas num dispositivo denominado Calset. A conversão dos monômeros em polímeros foi determinada através do FTIR-ATR. A dureza foi avaliada no Microdurômetro MMT-3 Microhardness Tester equipado com diamante Vickers. Para o teste de dureza Vickers, cinco amostras para cada grupo (4 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) foram confeccionadas com a resina composta pré-aquecida nas seguintes temperaturas: 37°C; 54°C e 60°C (n=5). As amostras foram submetidas ao teste de dureza Vickers imediatamente após a sua confecção. Foram efetuadas 4 medidas no topo e 4 na base de cada amostra. De acordo com a interação entre as duas unidades de luz e o aumento de temperatura da resina composta, os resultados indicam que somente a unidade de luz halógena influenciou nas médias dos valores de dureza Vickers. A unidade LED apresentou valores de dureza mais homogêneos entre o topo e a base da resina composta; evidenciando polimerização mais uniforme. O pré-aquecimento da resina composta não apresentou diferença estatisticamente significativa nos valores de dureza. Para a avaliação do grau de conversão foram confeccionadas 5 amostras (4 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) para cada grupo, utilizando unidades QTH e LED; e a resina composta nas seguintes temperaturas: 25°C (temperatura ambiente); 37°C; 54°C e 60°C (n=40). Após a confecção das amostras foi feita análise do grau de conversão através do FTIR-ATR. Segundo os resultados conclui-se que não houve diferença estatisticamente significativa na porcentagem do grau de conversão das resinas compostas fotoativadas com a unidade QTH ou LED. Em relação ao aumento de temperatura também não houve aumento significativo no grau de conversão das amostras confeccionadas com

resina composta pré-aquecida. Nesse estudo não existiu evidências que o tipo de unidade fotoativadora empregado ou a temperatura tenha influenciado no grau de conversão. A unidade fotoativadora influenciou apenas os valores de dureza Vickers, onde o LED mostrou polimerização mais homogênea.

Price *et al.* (2010) comparam o grau de dureza de cinco resinas compostas ativadas por seis diferentes fontes de luz LED (Sapphire [plasma-arc: PAC], Bluephase16i [light emitting diode: LED], LEDemetron II [LED], SmartLite IQ [LED], Allegro [LED] e UltraLume-5 [LED]) comparadas com a luz halógena (Optilux 501). Os compostos analisados (Vit-1-escence, Tetric Evoceram, Filtek Z250, 4 Seasons e Solitaire 2) foram polimerizados à distância de 4 mm e 8mm da extremidade da fonte de luz. Os quatro compostos foram ativados usando os seguintes protocolos: Sapphire (5 segundos), Bluephase16i (5 segundos), LEDemetron II (5 segundos), SmartLite IQ (10 segundos), UltraLume-5 (10 segundos), Allegro (10 segundos) e Optilux 501 (20 segundos). O compósito Solitaire 2 exigiu o dobro de tempo de irradiação. Em cada espécime, a dureza Knoop (KHN) foi medida em 49 posições através de uma grade de 3 x 3mm para determinar a habilidade de cada luz de fotopolimerizar cada tipo do compósito. A fonte de luz PAC apresentou o mais largo espectro de comprimento de onda e grande irradiação e maiores valores de dureza que ficou entre 4,7 a 18,1 KHN (50 gf) se comparado às demais fontes. Na classificação quanto à habilidade de fotopolimerização, a ordem da melhor para a pior foi a seguinte: Sapphire, Optilux 501, Allegro, UltraLume-5, SmartLite IQ, LEDemetron II e Bluephase16i.

3. PROPOSIÇÃO

O objetivo neste estudo foi avaliar a influência do tipo de fotoativador e da cor do compósito no grau de conversão e na dureza nas regiões de topo e base das amostras.

4. MATERIAL E MÉTODO

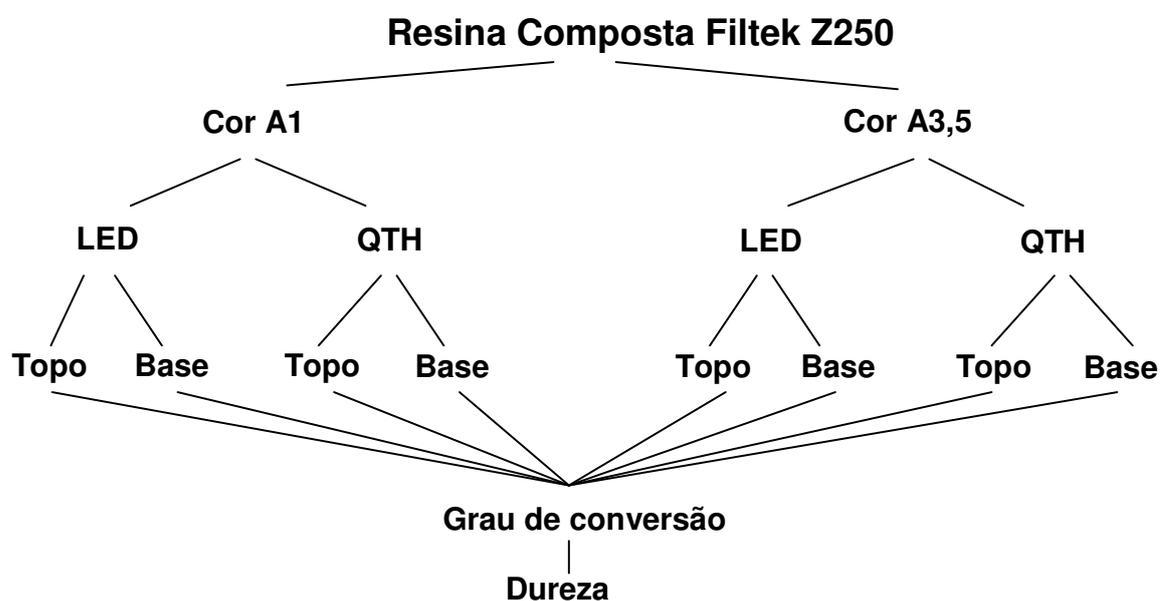
4.1. MATERIAL

Quadro 1 - Material, fabricante e composição dos materiais utilizados no estudo.

Material	Fabricante	Composição Básica
Resina Composta Filtek Z250 (Lote 5CG)	3M/ESPE St. Paul, MN, USA	BIS-EMA; UDMA; TEGDMA; Sílica e Zircônia

4.2. MÉTODO

Delineou-se o experimento de acordo com o Esquema 1, incluindo a avaliação de três fatores: cor da resina composta (A1 ou A3,5), diferentes aparelhos de fotoativação (QHT ou LED) e diferentes áreas (topo e base).



Esquema 1- Delineamento experimental

Analisou-se a dureza Knoop, bem como o grau de conversão por meio do espectrofotômetro FT-RAMAN de todas as amostras. Estas propriedades foram

verificadas em 40 unidades experimentais, distribuídas ao acaso entre os tratamentos propostos, sendo 5 unidades para cada grupo (n=5).

4.2.1. Confeção das amostras

As amostras foram confeccionadas a partir de matrizes metálicas circulares, com paredes internas sem retenção, nas seguintes dimensões: 2 mm de espessura e 3 mm de diâmetro. A matriz metálica foi lubrificada com óleo mineral, para facilitar a remoção da amostra.

Após a lubrificação, a matriz foi posicionada sobre uma tira de poliéster (Figura 1) e preenchida com a resina composta Filtek Z250 (Figura 2) em único incremento com o auxílio de espátula para resina, sendo 20 amostras na cor A1 e 20 amostras na cor A3,5. Outra tira de poliéster foi posicionada sobre a matriz.



Figura 1 – Matriz metálica.



Figura 2 - Resina Composta Z250.

Metade das amostras de cada cor foi fotoativada durante 40 segundos utilizando aparelho de lâmpada halógena de quartzo-tungstênio Degulux - QTH (Degussa Dental, Hanau, Alemanha) (Figura 3), com irradiância de 800 mW/cm². As outras 20 amostras foram fotoativadas com luz emitida por diodos SMARTLITE PS - LED (Dentsply, Konstanz, Alemanha) (Figura 4), com irradiância de 1100

mW/cm² durante 40 segundos. A mensuração da potência foi realizada com medidor (Ophir Optronics Ltda., Jerusalém, Israel).

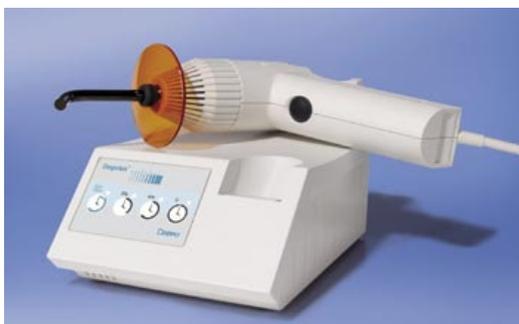


Figura 3 - Fotoativador QTH.



Figura 4 - Fotoativador LED.

As amostras foram armazenadas a seco, em recipientes opacos em estufa a 37°C. Após 24 horas, as amostras foram avaliadas quanto ao grau de conversão, por meio do espectrofotômetro FT-Raman, no topo de 5 amostras e na base de outras 5 amostras. Após 48 horas, as mesmas amostras foram submetidas ao teste de dureza Knoop.

4.2.2. Grau de Conversão

O grau de conversão foi analisado por FT-Raman (Figura 5). O espectro da resina foi obtido usando espectrômetro FT-Raman (RFS 100 / S - Bruker Inc., Karlsruhe, Alemanha). O funcionamento do equipamento ocorre a partir da excitação das moléculas da resina composta através de um laser (Nd: YAG – 1064 nm). Os grupamentos funcionais ativos presentes na amostra, quando excitados, emitem freqüências específicas relacionadas ao modo de vibração. O espectro espalhado foi captado pelo detector sensível, os dados foram armazenados em computador e, em seguida, levados ao software Microcal Origin ® para análise das curvas espectrais (Santos, 2003).



Figura 5 - Espectrômetro FT-Raman

A potência incidente máxima do laser sobre a superfície da amostra foi de 200 mW e a resolução do espectro de 4cm^{-1} . Para avaliação do grau de conversão, as amostras de resina foram posicionadas no compartimento para amostra, de modo que a incidência do laser fosse perpendicular à superfície da amostra. Para cada superfície, três espectros foram adquiridos em três pontos distintos (dois nas extremidades e outra na região central), obtendo-se 120 espectros, no total.

Este procedimento foi realizado também em uma amostra de resina composta não polimerizada. O resultado obtido foi um parâmetro utilizado como base de cálculo, para quantificar o grau de conversão a partir de uma equação:

Equação 1:

$$\text{Grau de Conversão (\%)} = 100 \times \{1 - [(a/b) / (c/d)]\}$$

Onde:

a = intensidade da banda de espalhamento Raman gerado pelas ligações C=C alifáticas do polímero;

b= intensidade da banda de espalhamento Raman gerado pelas ligações C=C do anel aromático do polímero;

c= intensidade da banda de espalhamento Raman gerado pelas ligações C=C alifáticas do monômero;

d= intensidade da banda de espalhamento Raman gerado pelas ligações C=C do anel aromático do monômero.

Os resultados FT-Raman foram obtidos para cada amostra e os valores foram submetidos à ANOVA três fatores e ao teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

4.3. Ensaio de dureza Knoop

Após 48 horas de armazenagem, as amostras foram submetidas ao ensaio de dureza Knoop. Todo ensaio foi realizado com durômetro Shimadzu (modelo HMV-2, Japão) (Figura 6). Para melhor posicionamento, as amostras foram colocadas sobre uma lâmina de cera utilidade, e sobre elas uma placa de vidro e depois submetida à prensagem, com o objetivo das amostras ficarem planas e perpendiculares ao penetrador do durômetro. Nas amostras foram realizadas três penetrações Knoop com carga de 50 gramas/força por 10 segundos, em duas extremidades diametralmente opostas e no centro da amostra (Figura 7).

Os dados de dureza foram submetidos à análise estatística ANOVA de três fatores e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). Os fatores analisados foram tipo de fotoativador, cor da resina composta e região de topo ou base.



Figura 6 – Durômetro Shimadzu (modelo HMV-2, Japão)

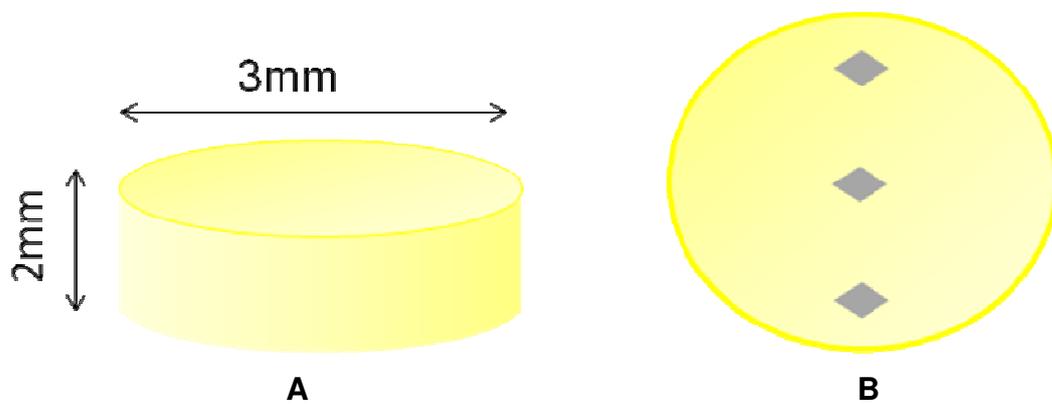


Figura 7 - A: Dimensões da amostra; B: Ilustração esquemática dos locais das penetrações.

5. RESULTADOS

5.1. GRAU DE CONVERSÃO

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) a três critérios, inteiramente ao acaso, com igual número de repetições, para detectar a existência de diferenças entre os critérios avaliados e interações.

Com a realização do tratamento estatístico ANOVA comprovou-se que não houve interação entre os fatores, e os dados foram submetidos ao teste de Tukey. Através da Tabela 1, podemos observar que os valores de p foram maiores que 0,05 ($p > 0,05$), demonstrando que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos e suas interações.

Tabela 1 - Análise de variância para grau de conversão, fotoativadores, cores de resina, regiões e interações.

	DF	MS	DF	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
Fotoativador (F1)	1	38,64825	32	20,60281	1,875873	0,180339
Cor da resina (F2)	1	35,38088	32	20,60281	1,717284	0,199371
Área (F3)	1	6,278504	32	20,60281	0,30474	0,584761
Int. F1xF2	1	31,45301	32	20,60281	1,526637	0,225612
Int. F1xF3	1	7,660232	32	20,60281	0,371805	0,546328
Int. F2xF3	1	35,06253	32	20,60281	1,701832	0,201353
Int. F1xF2x3	1	41,88557	32	20,60281	2,033003	0,163599

Não houve diferença estatística entre as cores A1 e A3,5 nas regiões de topo e base com a utilização lâmpada halógena. Na comparação entre cores, também não houve diferença estatística entre as regiões (Tabela 2 e Gráfico 1).

Tabela 2 – Médias do grau de conversão para interação entre a cor da resina e regiões (topo e base), para o fotoativador QTH.

QTH	TOPO	BASE
A1	63,15 (4,1) a A	65,40 (3,5) a A
A3,5	67,17 (3,4) a A	61,59 (3,3) a A

Letras distintas (maiúscula na vertical e minúscula na horizontal) indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (5%).

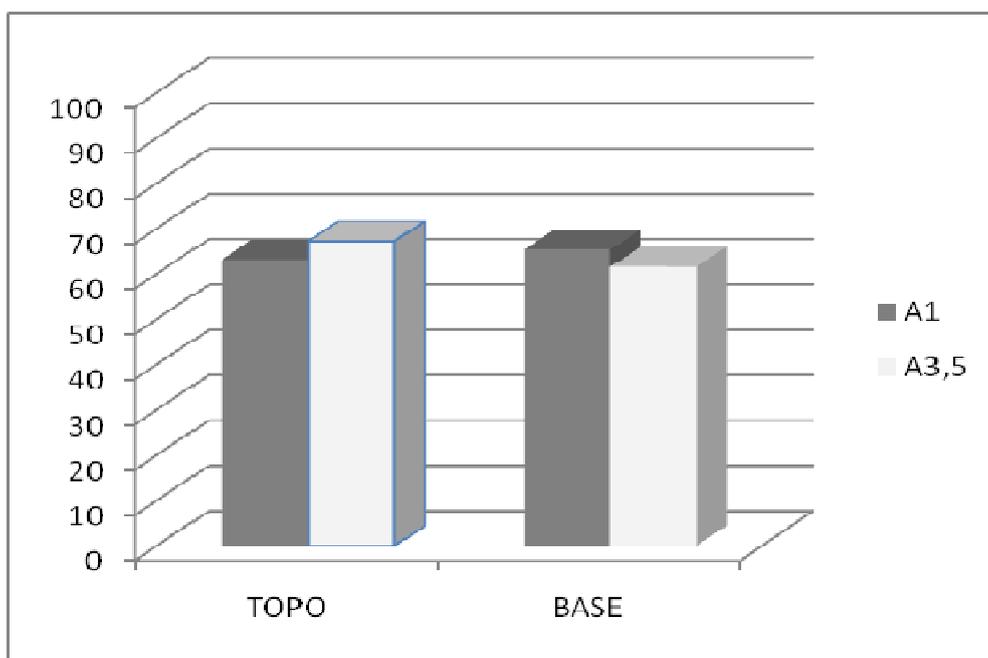


Gráfico 1 - Interação entre a cor da resina e as regiões (topo e base), para o fotoativador QTH.

Não houve diferença estatística entre as cores A1 e A3,5 nas regiões de topo e base para o LED. Na comparação entre cores, também não houve diferença estatística entre as regiões (Tabela 3 e Gráfico 2).

Tabela 3 - Médias do grau de conversão para interação entre a cor da resina e regiões (topo e base), para o fotoativador LED.

LED	TOPO	BASE
A1	60,58 (4,9) a A	60,49 (7,8) a A
A3,5	64,06 (2,1) a A	64,32 (4,9) a A

Letras distintas (maiúscula na vertical e minúscula na horizontal) indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (5%).

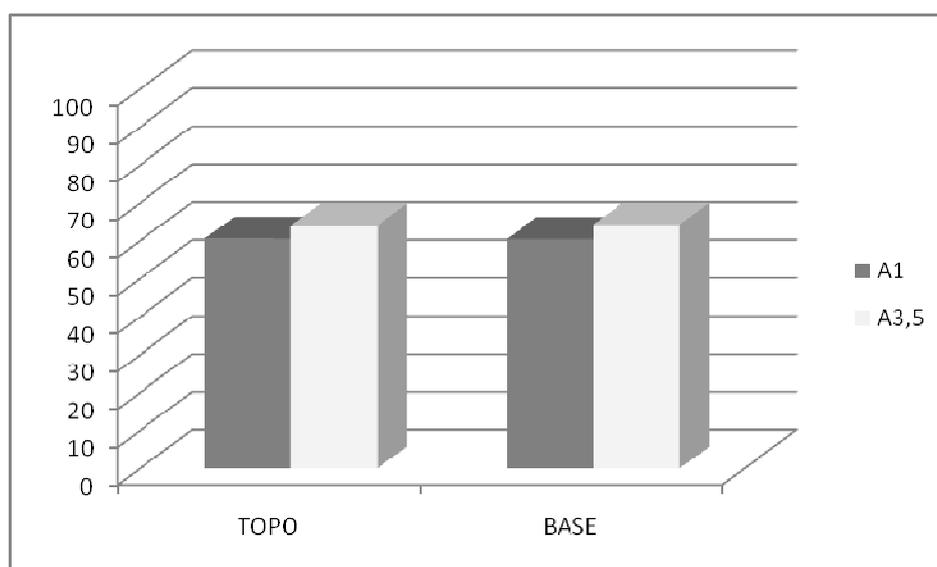


Gráfico 2 - Interação entre a cor da resina e as regiões (topo e base), para o fotoativador LED.

5.2. ENSAIO DE DUREZA KNOOP

Os dados de dureza Knoop foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) a três critérios, inteiramente ao acaso, com igual número de repetições, para detectar a existência ou não de diferenças entre os critérios avaliados e interações. Com a realização do tratamento estatístico ANOVA comprovou-se interação entre os fatores, e os dados foram submetidos ao teste de Tukey. Através da Tabela 4, observa-se que os valores foram maiores que 5% ($p > 0,05$), demonstrando que não houve diferença estatisticamente significativa entre os fatores e interações, exceto para o fator fotoativador.

Tabela 4 - Análise de variância da dureza Knoop para os diferentes fotoativadores, cores de resina e regiões (topo e base).

	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
Fotoativador (F1)	1	489,6067	16	57,08333	8,577051	0,009838
Cor da resina (F2)	1	2,041667	16	57,08333	0,035766	0,852377
Área (F3)	1	1764,735	16	57,08333	30,91507	4,31E-05
Int. F1xF2	1	181,5	16	57,08333	3,179562	0,093544
Int. F1xF3	1	218,4067	16	57,08333	3,826102	0,068151
Int. F2xF3	1	0,375	16	57,08333	0,006569	0,936406
Int. F1xF2x3	1	2,94	16	57,08333	0,051504	0,823341

Comparando-se a dureza das resinas proporcionada pela lâmpada halógena QTH, verifica-se por meio da Tabela 5 e Gráfico 3, que não houve diferença estatística entre as cores A1 e A3,5 tanto no topo quanto na base. Quando a cor A1 foi analisada, observa-se que houve diferença estatística significativa entre topo e base. No topo, o valor de dureza foi estatisticamente

maior que na base. Também houve diferença estatística entre topo e base na cor A3,5, sendo a dureza do topo maior que da base. Quando a comparação foi feita entre cores, houve valores de dureza similares no topo e na base

Tabela 5 – Médias da dureza Knoop para interação entre a cor da resina e regiões (topo e base) para o fotoativador QTH.

QTH	TOPO	BASE
A1	94,76 (7,7) a A	72,36 (6,2) b A
A3,5	89,92 (2,0) a A	68,9 (4,6) b A

Letras distintas (maiúscula na vertical e minúscula na horizontal) indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (5%).

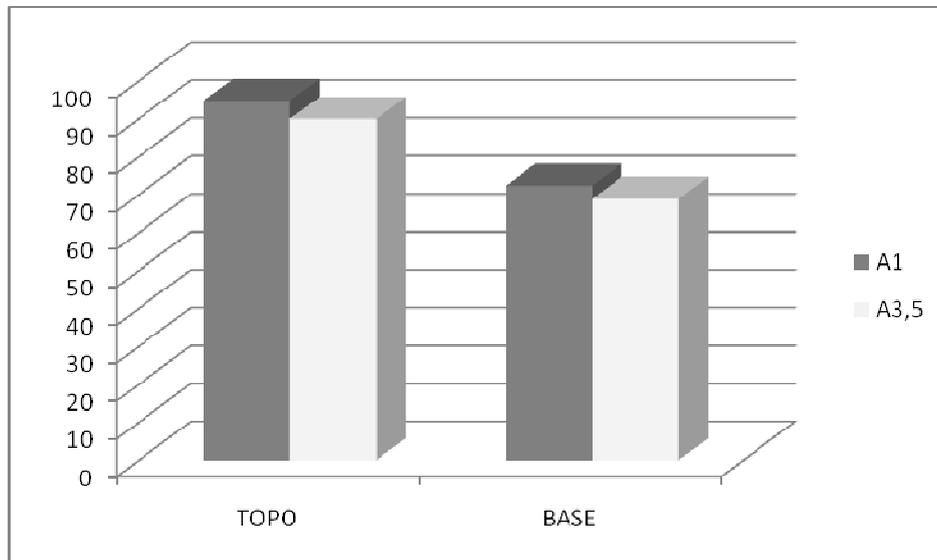


Gráfico 3 - Interação entre a cor da resina e as regiões (topo e base), para o fotoativador QTH.

Não houve diferença estatística para dureza entre regiões (topo e base) na interação entre as cores A1 e A3,5 para o LED. Não houve diferença estatística para as cores A1 e A3,5 nas regiões (topo e base) (Tabela 6 e Gráfico 4).

Tabela 6 - Médias da dureza Knoop para interação entre a cor da resina e regiões (topo e base) para o fotoativador LED.

LED	TOPO	BASE
A1	89,84 (10,9) a A	82,98 (3,0) a A
A3,5	97,48 (7,8) a A	85,66 (2,9) a A

Letras distintas (maiúscula na vertical e minúscula na horizontal) indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (5%).

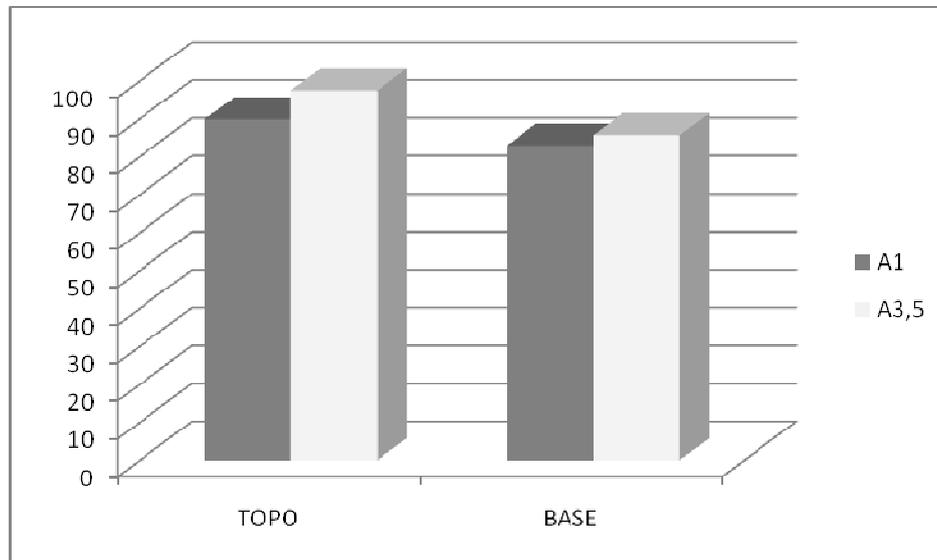


Gráfico 4 - Interação entre a cor da resina e as regiões (topo e base), para o fotoativador LED.

Na interação entre fotoativador e regiões (topo e base) para a resina A1, houve diferença estatística com maior valor de dureza para o topo utilizando a lâmpada halógena. Quando os fotoativadores foram comparados não houve diferença estatística tanto no topo quanto na base (Tabela 7 e Gráfico 5).

Tabela 7 - Médias da dureza Knoop para interação entre fotoativadores e regiões (topo e base) para a resina A1.

A1	TOPO	BASE
QTH	94,76 (7,7) a A	72,36 (6,2) b A
LED	89,84 (10,9) a A	82,98 (3,0) a A

Letras distintas (maiúscula na vertical e minúscula na horizontal) indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (5%).

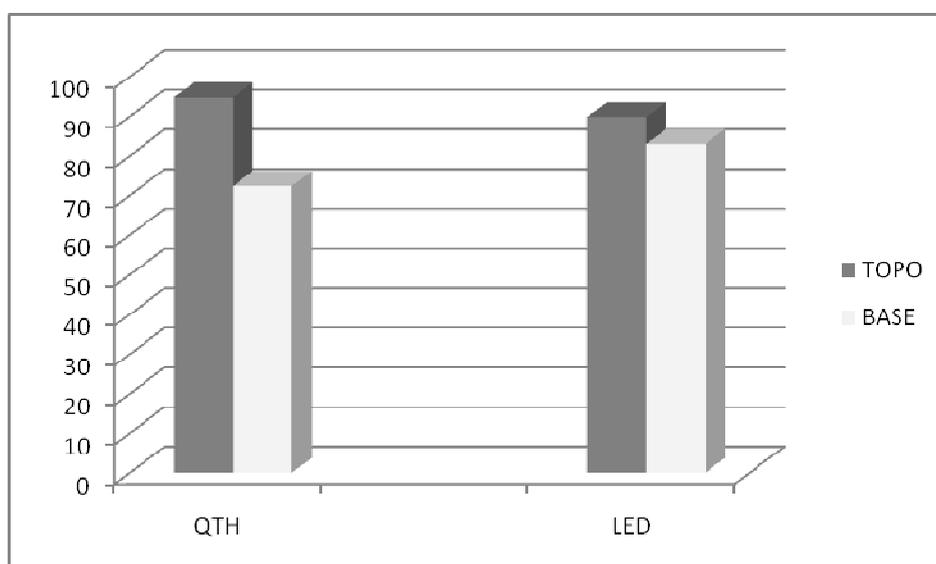


Gráfico 5- Interação entre fotoativadores e regiões (topo e base), para resina A1.

Na interação entre fotoativador e regiões (topo e base) para a resina A3,5, houve diferença estatística com maior valor de dureza para o topo utilizando a lâmpada halógena. Quando os fotoativadores foram comparados houve diferença estatística somente na base, com maior média para o LED (Tabela 8 e Gráfico 6).

Tabela 8 - Médias da dureza Knoop para interação entre fotoativadores e regiões (topo e base) para a resina A3,5.

A3,5	TOPO	BASE
QTH	89,92 (2,0) a A	68,9 (4,6) b B
LED	97,48 (7,8) a A	85,66 (2,9) a A

Letras distintas (maiúscula na vertical e minúscula na horizontal) indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (5%).

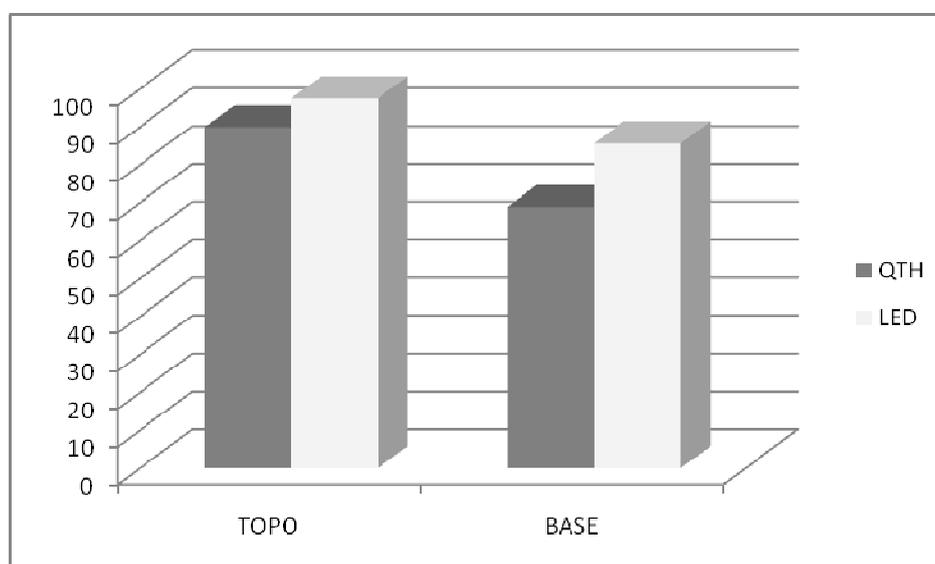


Gráfico 6 - Interação entre fotoativadores e regiões (topo e base), para resina A3,5.

6. DISCUSSÃO

Há alguns anos vêm se buscando formas alternativas de fotoativação dos compósitos odontológicos devido às desvantagens apresentadas pelas lâmpadas halógenas. Sabe-se que as lâmpadas halógenas têm reduzida vida útil, entre 40 e 100 horas. A redução da vida útil é conseqüência das altas temperaturas que degradam a lâmpada, o refletor e o filtro. Essa degradação, a longo prazo, resulta na redução de efetividade de polimerização dos compósitos.

Uma das fontes fotoativadoras alternativas que vêm sendo estudada são os LEDs (Light Emitting Diodes) que tem vida útil muito maior que as lâmpadas halógenas, e não sofrem degradação significativa do fluxo de luz com passar do tempo. Além disso, convertem energia em luz com mais eficiência, não produzem calor e são mais resistentes.

É necessário comprovar a qualidade de fotoativação das fontes alternativas, por isso, estudos são desenvolvidos comparando as luzes fotoativadoras. A adequada polimerização dos compósitos depende da intensidade da fonte de luz (radiação e densidade de potência), comprimento de onda e duração da exposição. A polimerização deficiente de compósitos está associada a propriedades físicas inferiores, maior solubilidade e respostas pulpares adversas causadas pelo monômero residual não fotopolimerizado.

O teste de dureza Knoop é um excelente método para avaliar profundidade de polimerização e eficiência de diferentes fontes de luz na fotopolimerização de compósitos. A dureza é comumente relacionada à força mecânica, rigidez e resistência.

O resultado do ensaio de dureza Knoop empregado neste estudo mostrou que a lâmpada QTH e o LED (Tabela 7, Gráfico 5) não promoveram diferença estatisticamente significativa nos valores de dureza para a cor A1. Estes resultados coincidiram com os achados de Bosquioli (2003) que também não encontrou diferenças na polimerização para resina de cor A1 em relação a outras

tonalidades, quando ativadas com LED. Ishizak & Fukushima (2004) também obtiveram valores de dureza similares quando utilizaram maior intensidade de luz com LED (830 mW/cm²) se comparado ao QTH (700 mW/cm²), protocolo semelhante ao utilizado neste estudo (1100 mW/cm² para LED; 800 mW/cm² para QTH).

Na análise específica da cor A3,5 com fotoativadores QTH e LED verifica-se que, na base, houve diferença estatisticamente significativa da dureza Knoop entre as fontes; onde o LED apresentou maior valor. Estas divergências corroboram com os achados de Ganime *et al.* (2008) que verificaram maior dureza pelo LED devido a intensidade de energia ser duas vezes maior que no QTH.

Dunn & Busch (2002) verificaram valores maiores de dureza com QTH atuando com intensidade de luz maior quando comparado ao LED. Já, Moore *et al.* (2002) ressaltaram que na irradiação com QTH a amplitude do comprimento de onda é maior que no LED, o que justificaria o aumento da dureza por aquele fotoativador. Price *et al.* (2003) e Price *et al.* (2005) destacaram a superioridade do LED, mostrando que esse fotoativador promove fotopolimerização do compósito Filtek-Z250 com a metade do tempo preconizado para o QTH.

A avaliação da efetividade de polimerização pode ser feita, tanto por meios diretos, quanto indiretos. Um dos métodos indiretos é a análise da dureza superficial que é comumente relacionada com força mecânica, rigidez, e resistência do compósito. Sabe-se que a vantagem do teste de dureza Knoop 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.

Na análise das regiões (topo e base), houve diferença estatística entre as regiões de topo e base com maior dureza Knoop no topo para a ativação com QTH (Tabela 7 e 8), enquanto com o LED também verificou-se maior dureza Knoop no topo porém sem diferença estatisticamente significativa, concordando com os resultados de Aguiar *et al.* (2005) que também verificaram maior dureza no topo para o mesmo compósito e tonalidades, associando este efeito a maior dificuldade de penetração da luz em camadas mais profundas da resina composta.

De acordo com Piló *et al.* (1999), a maior dureza na superfície de topo ocorre porque esta área está mais próxima da fonte de luz, sendo, portanto, menos dependente da distância da ponta ativa, da intensidade de luz e da duração da irradiação, quando comparada à superfície de base. Para Aguiar *et al.* (2005), quanto maior a distância da ponta do fotoativador maior a dispersão da luz entre a ponta do fotoativador e a superfície da resina. Destacou ainda, que a distância entre topo e base deve ficar entre 0,80 a 1 mm para que a polimerização seja considerada efetiva.

Estudos constataram que a polimerização do compósito Filtek-Z250 ocorre de forma efetiva quando a espessura é de aproximadamente de 2 mm utilizando QTH ou LED (Carvalho *et al.*, 2000; Moore *et al.* 2002; Munoz *et al.*, 2002; Price *et al.*, 2003; Correr, 2005; Price *et al.*, 2005; Dalli'magro *et al.*, 2008). Neste estudo também foi observado adequada polimerização do compósito a 2 mm de profundidade com essas duas unidades de fotoativação.

Aguiar *et al.* (2005) observaram que a dureza na base da resina a 2 mm e 4 mm de profundidade resultou em valores significativamente maiores de dureza que nas amostras ativadas a 8 mm de profundidade. Santos *et al.* (2007) também confirmaram esta relação, destacando que na irradiação com QTH houve dureza similar até 4 mm de profundidade, enquanto na irradiação com LED houve similaridade somente até 2 mm, seguida por diminuição abrupta. Tal condição poderia ser explicada pela maior dificuldade de penetração da luz em camadas mais profundas do compósito prejudicando a conversão dos monômeros (Arakawa *et al.*, 1998; Tanoue *et al.*, 2001; Aguiar *et al.*, 2005).

A tonalidade da resina composta é um fator que pode comprometer a eficácia da polimerização, sobretudo, em materiais mais escuros onde a transmissão de luz é reduzida devido à opacidade do material (Arakawa *et al.*, 1998). De acordo com Aguiar *et al.* (2005), as resinas de cores escuras absorvem mais luz, com subsequente diminuição do número dos fótons, prejudicando a conversão e diminuindo a dureza do compósito. Em contrapartida, as resinas mais claras permitem maior transmissão da luz, o que facilitaria a fotopolimerização e

obtenção de dureza adequada, fato verificado em pesquisas anteriores (Meira & Cardoso, 1996; Tanoue *et al.*, 2001; Guiraldo, 2009). Entretanto, neste estudo não foi verificada diferenças significativas na dureza (Tabela 5 e 6) e no grau de conversão (Tabela 2 e 3) em relação a cor da resina, corroborando os resultados de Jeong *et al.* 2009 que enfatizaram que a cor da resina teve mínimo efeito sobre a dureza.

Considerando os valores absolutos de dureza Knoop observados neste estudo para QTH, foi verificado um intervalo de 68,9 a 94,76 KHN (Tabela 5), com média 81,83 KHN e para o LED 82,98 a 97,48 KHN (Tabela 6), com média 90,23 KHN. Os valores de dureza para o LED ficaram próximos dos encontrados por Ganime *et al.* (2008), que observaram valores de dureza de 82,98 KHN; porém, para QTH os valores verificados neste estudo foram maiores que o valor 61,27 KHN encontrado anteriormente naquele estudo. Por outro lado, os valores médios de dureza deste estudo foram superiores aos valores de Munoz *et al.* (2002) e Moore (2002) que observaram valores de dureza em torno de 50 KHN, nos dois estudos. Neste estudo, os valores de dureza ficaram acima do patamar mínimo de 73%, conforme recomendação de Wanderwalle *et al.* (2004) para que a restauração ofereça adequada resistência à fratura.

O grau de conversão dos monômeros é também um parâmetro importante na fotopolimerização da resina composta. Neste estudo, não foi observado diferenças estatisticamente significativas no grau de conversão do compósito Z250 fotoativado com QTH (Tabela 2) ou LED (Tabela 3). Quando analisadas as tonalidades também não foram observadas diferenças estatisticamente significativas no grau de conversão para a resina nas cores A1 e A3,5 no topo e base com fotoativador QTH (Gráfico 1) e LED (Gráfico 2). Os resultados deste estudo comprovam os achados de Bala *et al.* (2005) e Rodrigues Neto *et al.* (2007) que verificaram existir grau similar de conversão entre LED e QTH na polimerização do compósito Filtek-Z250. O uso de LED de alta intensidade foi apontado pelos autores como sendo o fator responsável pela efetividade de conversão dos monômeros tal qual ocorreu no uso de QTH. Em

contrapartida, os resultados deste estudo diferiram dos achados de Nomoto & Hirano (2002) que evidenciaram maior grau de conversão do compósito quando fotoativado pela QTH, porém, foi utilizado LED de intensidade baixa ($98 \text{ mWcm}^2/40 \text{ s}$), que segundo os autores, necessitaria de um tempo três vezes maior para obter conversão igual ao fotoativador QTH ($377 \text{ mWcm}^2/20 \text{ s}$).

A divergência de valores de conversão na fotoativação da resina composta Filtek-Z250 com QTH e LED, encontrados na literatura, pode ser justificada pelas diferenças de intensidade e tempo de exposição da luz sobre o compósito. De acordo com Pilo (1995), intensidade de fotoativação menor que 200 mWcm^2 seria insuficiente para polimerizar a resina composta. Por outro lado, Leinfeld (1999) e Meniga (2004) ressaltaram que a alta intensidade gera tensão e conseqüentemente fenda na interface dente / compósito e que a intensidade mais baixa propicia melhor adaptação marginal e menos tensão de contração. Além disso, Leinfeld (1999) defendeu o uso do protocolo de ativação em duas etapas, iniciando com irradiação menor por menor tempo ($250 \text{ mWcm}^2/10 \text{ s}$), seguida pelo uso de intensidade maior por tempo maior de exposição ($650 \text{ a } 680 \text{ mWcm}^2/20 \text{ s}$), justificando que este método proporcionaria maior adesão da resina às superfícies do dente. Entretanto, para que ocorra polimerização adequada, é importante observar a energia necessária para a polimerização da resina, a intensidade da luz e o comprimento de onda emitido do aparelho fotoativador (Rueggberg, 1999).

O tempo de irradiação deve ser fixado conforme o tipo e a intensidade da unidade de fotoativação. De acordo com Moore *et al.* (2002), Nomoto & Hirano *et al.* (2002) e Meniga *et al.* (2004), a fotoativação utilizando LED com baixa intensidade necessita de maior tempo de irradiação para atingir um grau de conversão similar a fotoativação com QTH. Entretanto, neste estudo, foi utilizado tempo de ativação de 40s nos dois fotoativadores não sendo observada diferença significativa na dureza e grau de conversão. Este resultado pode ter sido alcançado devido ao uso de LED de alta intensidade inicial e que promoveu densidade equivalente de energia resultando em graus de conversão e dureza semelhante ao fotoativador QTH (Vanderwalle *et al.*, 2004). Este efeito também foi

observado por Hofmann *et al.* (2002) e Rodrigues Neto *et al.* (2007) que utilizaram o mesmo tempo, embora com diferentes intensidade de luz.

A unidade fotopolimerizadora QTH promoveu porcentagens de conversão de 61,59 (base) a 67,17% (topo) (Tabela 2), com média de 63,38%, para o compósito Z250; para a unidade LED foram observados percentuais de 60,49 (topo) a 64,32% (base) (Tabela 3), média de 62,40%. Estes valores de grau de conversão foram maiores se comparados ao estudo de Bala *et al.* (2005) e Schneider *et al.* (2006) que verificaram intervalos de 46,78 a 49,66% e 47,40 a 55,60 % para QTH e de 46,20 a 51,15% e 50,60 a 61,10 % para LED, respectivamente, para o mesmo compósito. Estas disparidades podem estar relacionadas às diferenças de tempo e intensidade de fotoativação utilizada nos estudos anteriores.

Os valores do grau de conversão verificados neste estudo divergiram também das considerações de Pianelli *et al.* (1999) que enfatizaram que a resina atinge no máximo cerca de 50% do grau de conversão, embora destacando que este valor poderá depender das condições do experimento e também da espessura da resina. Ferracane (1997) ressaltou que resinas com grau de conversão abaixo de 55% não são indicadas para uso em restaurações, pois não oferecem resistência oclusal, afirmando que valores de 55 a 65% seriam ideais porque forneceria resistência ao desgaste abrasivo.

A conversão dos monômeros segundo Yap *et al.* (2004), nunca é completa porque dificilmente ocorre a reação de todas as ligações duplas do polímero. Para Dunn & Bush (2002) e Leonard *et al.* (2002) a polimerização da resina composta seria adequada quando a diferença entre a conversão do topo e da base for igual ou menor que 20%. Com base nesta última assertiva, os valores de conversão deste estudo estariam dentro dos limites aceitáveis, considerando que não houve diferença estatisticamente significativa entre topo e base nas cores avaliadas.

A resistência das restaurações dentárias com resina composta fotopolimerizável está diretamente atrelada ao melhoramento das propriedades

físicas e mecânicas destes materiais, o que pode ser obtido com a adequada polimerização. Para tanto, é fundamental transpor as limitações inerentes aos materiais, aos métodos e técnicas de fotoativação, bem como das unidades fotopolimerizadoras. De acordo com os resultados do presente estudo, pode-se inferir que seria possível obter nível de resistência aceitável para a resina composta Z250, modulando tempo de exposição da luz e profundidade de polimerização, de acordo com a coloração do compósito. Porém, diante das diferentes variáveis envolvidas no processo de fotopolimerização, outros estudos seriam necessários para ratificar e complementar as informações obtidas neste trabalho.

7. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados analisados e discutidos e, considerando a limitação deste estudo, as seguintes conclusões podem ser emitidas:

1. Dureza Knoop:

1.1 Não houve diferença estatisticamente significativa na dureza Knoop do compósito Z250 entre as cores A1 e A3,5 com os fotoativadores QTH e LED;

1.2 Para a cor A1 não houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes ativadoras, entretanto, comparando as regiões, o topo apresentou valor de dureza estatisticamente maior em relação à base utilizando a fonte de luz QTH;

1.3 Para a cor A3,5 houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes ativadoras, onde o LED apresentou maior valor de dureza na base quando comparado com a fonte QTH. Entretanto, analisando as regiões, o topo apresentou valor de dureza estatisticamente maior em relação à base utilizando a fonte de luz QTH;

2. Grau de conversão:

2.1 Não houve diferença estatisticamente significativa no grau de conversão da resina nas cores A1 e A3,5 tanto no topo quanto na base nos fotoativadores QTH e LED.

REFERÊNCIAS*

Aguiar FH, Lazzari CR, Lima DA, Ambrosano GM, Lovadino JR. Effect of light curing tip distance and resin shade on microhardness of a hybrid resin composite. **Braz Oral Res.** 2005; 19(4): 302-306.

Antunes MJS, Torres CRG, CRU, DB, Araújo MAM, Anido AA. Estudo comparativo dos fotopolimerizadores de luz halógena versus LED na microdureza das resinas compostas. **Pesq Odontol Bras.** 2003;17:44.Supl. 2.

Anusavice JK. Resinas para restauração. In: _____ - **Phillips:** materiais dentários. 10.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1998. Cap.12, p.161-77.

Arakawa H, Fujii K, Kanie T, Inoue K. Light transmittance characteristic of lightcured composite resins. **Dent Mater.** 1998; 14(6);405-411.

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

Barros GKP, Arita CHM, Braceiro ATB, Aguiar FHB, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Efeito do tipo de polimerização e da imersão em etanol na dureza superficial e tração diametral, em um compósito dental. **Pesq Odontol Bras.** 2003;17:95.Supl.2.

Borges A, Chasqueira, Portugal J. Grau de Conversão de Resinas Compostas. Influência do método de fotopolimerização. **Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial.** 2009; 50(4):197-203.

Bosquioli V. **Avaliação da resistência à tração de uma resina composta fotopolimerizável em função de diferentes fontes de luz e de tempos de ativação** [dissertação]. Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru - USP; 2003.

* De acordo com a norma da UNICAMP/FOP, baseadas na norma do International Committee of Medical Journal Editors – Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

Bowen RL. Properties of silica-reinforced polymer for dental restorations. **J Am Dent Assoc.** 1963; 66(1): 57-64.

Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. **J Dent Res** 1955 Dec; 34(6): 849-53.

Caldas DB, Almeida JB, Correr Sobrinho L, Sinhoreti MA, Consani S. Influence of curing tip distance on resin composite Knoop hardness number, using three different light curing units. **Oper Dent.** 2003; 28(3): 315-20.

Carvalho MCFS, Goes MF, Rosolen M. Cure degree and hardness Knoop of composite resins. **J Dent Res.** 2000; 79:444 Special issue.

Carvalho, MCFS. **Influência da energia utilizada na fotoativação de resinas compostas na dureza superficial e no número relativo de radicais livres** [tese]. São Paulo: USP; 2002.

Cook WD. Factors affecting the depth of cure of UV-polymerized composites. **J Dent Res.** 1980 May; 59(5):800-8.

Correr AB. **Avaliação da dureza Knoop de compósitos restauradores odontológicos fotoativados por diferentes métodos** [dissertação]. Piracicaba, SP: UNICAMP; 2005.

Dall'imagro E, Sinhoreti Mac, Correr Ab, Consani Rlx, Sicoli El, Mendonça Mj, Correr-Sobrinho L. Effect of different modes of light modulation on the bond strength and knoop hardness of a dental composite. **Braz. Dent. J.** 2008, 19 (4):334-340.

Dunn WJ, Bush AC. A comparison of polymerization by light-emittingdiode and halogen-based light-curing units. **J Amer Dent Ass.** 2002 Mar; 133(3):335-41.

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 Amer Dent Ass.** 2002 Apr; 133(4):429-34.

Felix C, Price R, Andreou P. Curing Depths of QTH and Third- Generation LED Curing Lights. **J Dent Res**. 2004; 83: 635. Special issue A.

Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R. Wear and marginal breakdown of composites with various degree of cure. **J Dent Res**. 1997 Aug; 76(8):1508-1516.

Franco EB, dos Santos PA, Mondelli RF. The effect of different light-curing units on tensile strength and microhardness of a composite resin. **J Appl Oral Sci**. 2007 Dec;15(6):470-4.

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

Gonçalves F, Calheiros Fc, Witzel Mf, Kawano Y, Braga Rr. Effect of photoactivation protocol and radiant exposure on monomer conversion and flexural strength of a resin composite after water and ethanol storage. **J Biomed Mater Res B Appl Biomater**. 2007 Jul;82(1):89-92.

Guiraldo RD. Influência da cor na passagem de luz e relação com propriedades mecânicas de compósitos [dissertação]. Piracicaba, SP: UNICAMP; 2009.

Hofmann N, Hugo B, Klaiber B. Effect of irradiation type (LED or QTH) on photoactivated composite shrinkage strain kinetics, temperature rise, and hardness. **Eur J Oral Sci**. 2002; 110(6): 471-9.

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

Ishizak H, Fukushima M. Effect of LED on Polymerization of Composites and Enamel Cracks. **J Dent Res**. 2004; 83: 479. Special issue A.

Jeong TS, Kang HS, Kim SK, Kim S, Kim HI, Kwon YH. The effect of resin shades on microhardness, polymerization shrinkage, and color change of dental composite resins. **Dent Mater J**. 2009 Jul;28(4):438-45.

Leinfelder KF. What intensity is best in light curing? **J Amer Dent Ass** 1999 Apr; 130(3):534-8.

Leonard DL, Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Cohen ME. Polymerization efficiency of LED curing lights. **J Dent** 2002. 81:390. Special issue.

Meira JBC, Cardoso PEC. Avaliação da dureza Knoop e da resistência ao desgaste de resina composta em função da cor e da fonte ativadora. **RPG – Rev Pós-Grad** 1996 out./dez.; 3(4): 324-6.

Meniga A., Tarle Z, Knezevic A, Sutalo J, Pichler G. Conversion Rate in Composite Samples Cured with Different LED Sources. **J Dent Res**. 2004; 83:476. Special Issue A.

Mills RW. Blue light emitting diodes- another method of light curing? **Brit Dent J**. 1995 Mar; 178(5): 169.

Moore BK, Platt JA, Clark HE, Duke ES. Properties of 3 commercial LED, blue-light activating units. **J Dent Res**. 2002; 81: 486. Special issue.

Munksgaard EC, Peutzfeldt A, Asmussen E. Elution of TEGDMA and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light. **Eur J Oral Sci**. 2000 Aug; 108(4): 341-345.

Munoz CA, Jessop N, Sy J, Dunn JR. Dentin bond strength of a new self-etching adhesive polymerized with LED. **J Dent Res**. 2002; 81:72. Special issue.

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

Nomoto R, Hirano S. Evaluation of non-tungsten-halogen light curing units. **J Dent Res**. 2002; 81:84. Special issue.

Obici AC, Sinhoreti MAC, Frollini E, Correr Sobrinho L, Consani S. Degree of conversion and Knoop hardness of z250 composite using different photo-activation methods. **Polymer testing**, n.24, p.814-818, 2005.

Obici AC, Sinhoreti MAC, Goes MF, Consani S, Sobrinho LC. Effect of the photo-activation method on polymerization shrinkage of restorative composites. **Oper Dent.** 2002; 27: 192-8.

Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci.* 1997; 105(2): 97-116.

Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. **Dent Mater.** 2000; 16(5): 330-6.

Phillips RW. Skinner's science of dental materials. 7.ed. Philadelphia: Saunders; 1973.

Pianelli C, Devaux J, Bebelman S, Leloup G. The micro-Raman spectroscopy, a useful tool to determine the degree of conversion of light-activated composite resins. **J Biomed Mater Res** 1999;48:675-81.

Pilo R, Oelgiesser D, Cardash HS. A survey of output intensity and potential for depth of cure among light-curing units in clinical use. **J Dent.** 1999 Mar; 27(3): 235-41.

Pollack BF, Blitze MH. The advantages of visible light curing resins. **N Y St Dent J.** 1982 Apr; 48 (4): 228-30.

Price RB, Ehrnford L, Andreou P, Felix CA. Comparison of quartz-tungsten-halogen, light-emitting diode, and plasma arc curing light. **J Adhes Dent.** 2003, 5(3): 193-207.

Price RB, Fahey J, Felix CM. Knoop microhardness mapping used to compare the efficacy of LED, QTH and PAC curing lights. **Oper Dent.** 2010 Jan-Feb;35(1):58-68.

Price RB, Felix CA, Andreou P. Knoop hardness of ten resin composites irradiated with high-power LED and quartz-tungsten-halogen lights. **Biomaterials.** 2005; 26(15): 2631-41.

Rodrigues Neto, Elossais AA, Munõz Chávez OF; Pereira NRS, Silva PG, Saad JRC. Estudo comparativo de aparelhos fotopolimerizadores para determinar o grau de conversão de resinas compostas utilizando o espectrofotômetro de infravermelho. **RGO** (Porto Alegre); 55(4):357-361, out.-dez. 2007.

Rueggeberg FA. Contemporary issues in photocuring. **Compendium**. 1999 Nov; 20:4-15. Supl. 25.

Saad EG. **Avaliação da dureza e do grau de conversão de uma resina composta em função do pré- tratamento térmico e da fonte de luz fotopolimerizadora** [Mestrado]. São Paulo: Unesp; 2009.

Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E. Soft-start polymerization and marginal gap formation in vitro. **Am J Dent**. 2001; 14(3): 145-7.

Santos GB, Medeiros IS, Fellows CE, Muench A, Braga RR. Composite depth of cure obtained with QTH and LED units assessed by microhardness and micro-Raman spectroscopy. **Oper Dent**. 2007 Jan-Feb;32(1):79-83.

Santos GB. **Estudo da microdureza Knoop e do grau de conversão de um compósito em função da profundidade e fontes ativadoras** [Mestrado]. São Paulo: USP - Faculdade de Odontologia; 2003.

Santos MJMC, Silva e Souza Jr MH, Mondelli RFL. Novos conceitos relacionados à fotopolimerização das resinas compostas. **J Bras Dent Est**. 2002 jan./mar; 1(1):14-21.

Schneider LF, Consani S, Correr AB, Sobrinho LC, Sinhoreti MA. Effect of time and polymerization cycle on the degree of conversion of a resin composite. **Oper Dent** 2006 Jul-Aug;31(4):489-95.

Schneider LFJ, Pfeifer Csc, Consani S, Pahl Sa, Ferracane JI. Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. **Dent Mater** 2008 Sep; 24(9):1169-77.

Silikas N, Eliades G, Watts Dc. Light intensity effects on resin-compositedegree of conversion and shrinkage strain. **Dent Mater**, 2000 Jul; 16(4): 292-296.

Tanoue N, Koishi Y, Matsumura H, Atsuta M. Curing depth of different shades of a photo-activated prosthetic composite material. **J Oral Rehabil**. 2001; 28(7): 618-623.

Tarle Z, Meniga A, Knezevic A, Sutalo J, Ristic M. Composite conversion and temperature rise using a conventional, plasma arc, and an experimental blue LED curing unit. **J Oral Rehabil**. 2002; 29: 662-7.

Vandewalle KS, Ferracane JL, Hilton TJ, Erickson RL, Sakaguchi RL. Effect of energy density on properties and marginal integrity of posterior resin composite restorations. **Dent Mater**. 2004; 20(1): 96-106.

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.