

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CENTRO INTEGRADO DE SAÚDE  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
PPG - MESTRADO EM CLÍNICA ODONTOLÓGICA

**Roberta Mattos Barreto**

**DUREZA KNOOP DE UMA RESINA COMPOSTA: INFLUÊNCIA DA  
FOTOATIVAÇÃO POR LUZ HALÓGENA OU LED, DO TEMPO DE  
ARMAZENAGEM E DO LOCAL DE MEDIÇÃO.**

Juiz de Fora

2009

**ROBERTA MATTOS BARRETO**

**DUREZA KNOOP DE UMA RESINA COMPOSTA: INFLUÊNCIA DA  
FOTOATIVAÇÃO POR LUZ HALÓGENA OU LED, DO TEMPO DE  
ARMAZENAGEM E DO LOCAL DE MEDIÇÃO.**

Dissertação apresentada ao PPG- mestrado em Clínica odontológica da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos à obtenção do título de mestre.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Titular Dr<sup>a</sup> Ivone de Oliveira Salgado.**

**Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana Andrea Salvio**

Juiz de Fora

2009

Barreto, Roberta Mattos

Dureza Knoop de uma resina composta: influência da fotoativação por luz halógena ou LED, do tempo de armazenagem e do local de medição / Roberta Mattos Barreto. -- 2009.  
80 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Clínica Odontológica)-  
Universidade Federal de Juiz de fora, Juiz de Fora, 2009.

1. Resinas compostas. 2. Testes de dureza. 3. Materiais dentários. Título

CDU 616.314

**ROBERTA MATTOS BARRETO**

**DUREZA KNOOP DE UMA RESINA COMPOSTA: INFLUÊNCIA DA FOTOATIVAÇÃO POR LUZ HALÓGENA OU LED, DO TEMPO DE ARMAZENAGEM E DO LOCAL DE MEDIÇÃO.**

Dissertação apresentada ao PPG- Mestrado em Clínica Odontológica da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos à obtenção do título de Mestre. Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2008, pela Banca Examinadora composta por:

---

Prof<sup>a</sup>. Titular Ivone de Oliveira Salgado  
Doutora – UFJF

---

Prof. Titular Henrique Duque de Miranda Chaves Filho  
Doutor – UFJF

---

Prof. Associado Paulo Afonso da Silveira Fanciscone  
Doutor – FOB-USP

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais que me ensinaram a dar os primeiros passos e sempre guiaram a minha caminhada.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a **Deus** pela vida e por colocar nela pessoas tão especiais.

A começar por meus **Pais**, pois me ensinaram tudo o que eu precisava para começar a caminhar com as minhas próprias pernas e sempre estiveram ao meu lado torcendo por mim e me ajudando a levantar dos muitos tombos. Amo muito vocês!

Ao meu irmão **Raphael**, companheiro de toda a vida pelo carinho e cuidado, e à **Kiki** por cuidar tão bem dele e de mim também!

Ao **Fabrcio**, amor que encontrei e que trouxe para minha vida uma felicidade sem tamanho, me deu apoio e carinho em todos os momentos. E à sua família que amo tanto e já adotei como se fosse minha.

À minha orientadora, Professora Titular Doutora **Ivone de Oliveira Salgado** agradeço todo o apoio, compreensão e todas as horas despendidas na realização deste trabalho, seu olhar minucioso tem sido imprescindível na minha caminhada, direcionado meus acertos e corrigindo minhas inúmeras falhas.

À minha co-orientadora Professora Doutora **Luciana Andrea Salvio** agradeço primeiramente pela amizade, sua ajuda na realização deste trabalho foi fundamental, conviver com você permitiu me aprofundar no conhecimento científico dos materiais dentários e na pesquisa. Obrigada por abrir as portas da FOP/UNICAMP para a realização deste trabalho.

Ao nosso Magnífico Reitor da Universidade Federal de Juiz de Fora, professor titular Doutor **Henrique Duque de Miranda Chaves Filho**, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Clínica Odontológica, por aceitar participar desta banca examinadora, e também pelas valiosas contribuições dadas a este trabalho no exame de qualificação.

À Faculdade de Odontologia - UFJF, na pessoa de seu Digníssimo Diretor, Professor Doutor **Antônio Márcio Resende do Carmo**, aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Clínica Odontológica, Professor Doutor **Josemar Parreira Guimarães** e Professora Doutora **Maria das Graças Afonso Miranda Chaves**.

À CAPES pela bolsa de mestrado que cobriu todas as despesas deste trabalho e possibilitou a sua realização.

Aos professores e funcionários da disciplina de Materiais Dentários da FOP/UNICAMP, e de forma especial aos professores Doutor **Lourenço Correr Sobrinho**, Doutor **Mário Alexandre Coelho Sinhoreti** e Doutor **Mário Fernando de Góes** por permitirem que a parte experimental deste trabalho fosse realizada nos laboratórios da disciplina.

Ao Professor Doutor **Jalon de Moraes Vieira** pela grande ajuda na concepção da matriz utilizada neste estudo e pela dedicação em produzi-la juntamente com seus alunos do CTU/UFJF.

Ao Professor Doutor **Alfredo Chaoubah** por me ensinar e auxiliar na realização das análises estatísticas deste trabalho.

Ao Professor Doutor **Paulo Afonso da Silveira Fanciscone** por prontamente aceitar o convite para participar desta banca examinadora.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Clínica Odontológica pelos ensinamentos, pelas correções e pelo exemplo.

Aos colegas do Mestrado agradeço pelo companheirismo e pelos bons momentos compartilhados.

À Professora **Sônia Sotto-Maior Fortes Garcia Rodrigues** pelo carinho que demonstrou durante todo o período em que estive ligada à faculdade. Aprendi e aprendo com você todos os dias.

A todos os professores e funcionários alunos da FO/UFJF meu agradecimento especial pelo apoio e incentivo.

A todos os meus familiares por sempre me apoiarem e incentivarem o meu crescimento, compreendendo os momentos em que eu estive ausente.

Aos meus amigos que fiz ao longo de toda essa vida e que foram essenciais em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ainda todos aqueles que de forma direta ou indireta me ajudaram na realização deste trabalho com palavras de carinho e incentivo.

“Aprendi que os sonhos existem para tornar-se realidade. E desde aquele dia já não durmo mais para descansar, simplesmente, durmo para sonhar.”

(Walt Disney)

## RESUMO

BARRETO, R. M. **Dureza Knoop de uma Resina Composta: Influência da Fotoativação por Luz Halógena ou LED, do Tempo de Armazenagem e do Local de Medição.** Juiz de Fora, MG, 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Clínica Odontológica) – Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

Este estudo foi realizado com o objetivo de investigar a influência do local de medição, do tempo decorrido após a fotoativação e do tipo de aparelho utilizado nos valores de dureza Knoop de uma resina composta. Para este propósito, a resina composta Filtek Z250 - UD (3M/ESPE) foi utilizada. Preparou-se 40 amostras cilíndricas com 6mm de diâmetro e 2mm de espessura em uma matriz de aço. As amostras foram fotopolimerizadas com um aparelho de quartzo tungstenio halógeno (QTH) - XL 2500 (3M/ESPE) ou por um de diodo emissor de luz (LED) - Ultrablue Is (DMC) com densidades de potência distintas (600 e 500mW/cm<sup>2</sup> respectivamente) cujas densidades de energia foram padronizadas. As amostras foram armazenadas a 37±1°C por 01h, 24h, 07 dias e 30 dias em água deionizada. Metade das amostras de cada grupo foi desgastada e as leituras de dureza Knoop foram realizadas no centro das amostras, 100µm distantes das superfícies de topo e base. Na outra metade as leituras foram realizadas no topo e na base das amostras sem que estas fossem seccionadas. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey adotando um nível de significância de 5%. O local de leitura não influenciou os valores de dureza Knoop; as amostras atingiram seus valores de dureza máximo 24h após a fotoativação, exceto para as leituras no interior das amostras fotoativadas com LED que atingiram sua dureza máxima com 07 dias e o tipo de luz fotoativadora não influenciou os resultados.

Palavras-chave: Resinas compostas. Testes de Dureza. Materiais dentários.

## ABSTRACT

BARRETO, R. M. **Composite Microhardness: Halogen or LED Fotoactivation, Elapsed Time and Microhardness Reading Location influence.** Juiz de Fora, MG, 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Clínica Odontológica) – Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

This study aimed to investigate the influence of the reading location, expended time and light source on the Knoop hardness values of a composite resin. For that purpose, an hybrid composite Filtek Z250 - UD (3M/ESPE) was used. The preparation of 40 Cylindrical samples, 6mm in diameter and 2mm high was carried out in a stainless steel matrix. Samples was fotocured by a quartz tungsten halogen device (QTH) XL 2500 (3M/ESPE) or by a LED (light emitting diode) device Ultrablue Is (DMC) with diferent Power densities (600 and 500mW/cm<sup>2</sup> respectively) but standardized energy densities. Samples were stored at 37±1°C for 01h, 24h, 07 days and 30 days in deionized water. Half of the samples of each group were sectioned and Knoop hardness readings were performed at the samples centre, 100µm away from top and from bottom surfaces. In the other half the readings were performed at top and bottom surfaces without sectioning. The results were submitted to variance analysis and the means were compared by Tukey test using the significance level of 5%. Reading location didn't influenced the Knoop hardness values; The specimens reached highest hardness values 24hours after fotoactivation, except for readings performed in the specimens interior and fotoactivated with LED that reached their highest hardness within 07days and light source didn't influenced results.

Key Words: Composite resins. Hardness tests. Dental Materials

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	– graus Celsius
µm	– micrometros
BAPO	– Óxido de bis-acil fosfina
Bis-EMA	– Bisfenol A-polietileno-glicol-diéter-dimetacrilato
Bis-GMA	– Bis-Fenol A-Glicidil Metacrilato
h	– horas
ISO	– Organização Internacional para Padronização
J	– joules
KHV	– Valor de dureza Knoop
LED	– diodo emissor de luz
Lucirin TPO	– 2,4,6- Óxido trimetilbenzoildifenilfosfina
min	– minutos
mm	– milímetros
mW/cm <sup>2</sup>	– miliwatts por centímetro quadrado
nm	– nanometros
PPD	– 1-fenil1-1,2-propanodiona
QTH	– quartzo tungstênio halógena
s	– segundos
UDMA	– uretano dimetacrilato

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Quadro 1</b>	Composição da resina composta Filtek Z250 (segundo informações do fabricante).	48
<b>Quadro 2</b>	Descrição dos aparelhos fotopolimerizadores utilizados na pesquisa.	50
<b>Quadro 3</b>	Divisão dos grupos de acordo com o tipo de aparelho fotopolimerizador, os tempos de armazenamento e os locais de leitura.	52
<b>Figura 1</b>	Matriz em aço inox utilizada no estudo. (A) Partes constituintes da matriz: anel, base e garfo; (B) Ao encaixar o anel à base, forma-se uma superfície plana; (C) Ao montar o garfo com espessura de 2mm forma-se a cavidade central da matriz, onde são produzidos os corpos de prova.	48
<b>Figura 2</b>	Confecção dos corpos de prova. (A) Inserção da resina composta; (B) Mariz preenchida com a resina composta; (C) Posicionamento da lamínula de vidro sobre a matriz; (D) Posicionamento da lâmina de vidro sobre a lamínula; (E) Aplicação de pressão digital.	49
<b>Figura 3</b>	Aparelhos fotopolimerizadores (A) XL 2500 - 3M/ESPE e (B) Ultrablue Is - D.M.C.	49
<b>Figura 4</b>	(A) Microdurômetro utilizado para a realização das medições; (B) Ponta de diamante do aparelho; (C) Desenho esquemático do formato da marca deixada pelo diamante piramidal na superfície da amostra, mostrando a diagonal maior (d) utilizada para o cálculo da dureza Knoop.	51
<b>Figura 5</b>	Desenho esquemático das medições de dureza realizadas no topo e na base das amostras.	51
<b>Figura 6</b>	Desenho esquemático das amostras fixadas verticalmente no suporte para serem lixadas e polidas (a) e após o procedimento de desgaste (b).	52

<b>Figura 7</b>	Desenho esquemático das medições de dureza Knoop realizadas distantes 100 $\mu$ m do topo e da base das amostras.	53
<b>Figura 8</b>	Gráficos representativos da evolução dos valores de dureza Knoop com o tempo para as quatro regiões em que foram realizadas as medições e para os aparelhos de LED e de QTH.	56
<b>Figura 9</b>	Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas com os aparelhos de LED e de QTH nos diversos locais e tempos de armazenagem.	57
<b>Figura 10</b>	Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas no topo e a 100 $\mu$ m deste nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.	58
<b>Figura 11</b>	Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas na base e a 100 $\mu$ m desta nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.	58
<b>Figura 12</b>	Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas no topo e na base nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.	60
<b>Figura 13</b>	Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas e a 100 $\mu$ m do topo e 100 $\mu$ m da base nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas em cada tempo de armazenamento para ambos os aparelhos e locais de leitura.	55
<b>Tabela 2</b>	Comparação entre as médias de dureza Knoop das amostras fotoativadas pelos aparelhos de LED e de QTH nos diversos locais de medida e tempos de armazenamento.	56
<b>Tabela 3</b>	Comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas em cada superfície e distantes 100 $\mu$ m dela, para ambos os aparelhos e tempos de armazenamento.	57
<b>Tabela 4</b>	Comparação entre as médias de dureza Knoop do topo e da base e entre as médias de 100 $\mu$ m do topo e 100 $\mu$ m da base e dureza relativa das amostras para o aparelho de LED.	59
<b>Tabela 5</b>	Comparação entre as médias de dureza Knoop do topo e da base e entre as médias de 100 $\mu$ m do topo e 100 $\mu$ m da base e dureza relativa das amostras para o aparelho de QTH.	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	19
<b>3 PROPOSIÇÃO</b>	45
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	47
<b>5 RESULTADOS</b>	54
<b>6 DISCUSSÃO</b>	61
<b>7 CONCLUSÕES</b>	74
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	76



## 1 INTRODUÇÃO

A melhora das propriedades das resinas compostas, cuja formulação básica foi proposta por Bowen em 1962 e permanece até os dias atuais, fez com que estas se tornassem o material de escolha para restaurações diretas em dentes anteriores, e a sua utilização vem ganhando aceitação em áreas de maiores esforços mastigatórios (ANUSAVICE, 2005).

As resinas compostas fotopolimerizáveis têm como principal fotoiniciador a Canforoquinona (CQ), que tem seu pico de absorção de energia luminosa em torno de 470nm (TARLE, 2002; SHORTALL, 2005). Para ativá-la, os dois aparelhos fotoativadores mais comumente utilizados em Odontologia são os aparelhos de diodo emissor de luz (LED) e os de luz de quartzo tungstênio halógena (QTH). Os aparelhos de LED apresentam um espectro de emissão de luz mais estreito com pico entre 470 e 500nm (OWENS e RODRIGUEZ, 2007), ou seja, coincidente com a faixa de absorção da canforoquinona (TARLE, 2002; SHORTALL, 2005). Já os aparelhos de QTH produzem um espectro mais amplo (SHORTALL, 2005; FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006; OWENS e RODRIGUEZ, 2007), com pico em 520nm (OWENS e RODRIGUEZ, 2007), sendo capazes de fotoativar materiais resinosos que possuem outros iniciadores além da CQ como o Lucirin TPO (2,4,6- óxido de trimetilbenzoildifenilfosfina) que tem sua máxima absorção a 382nm (GRITSCH et al., 2008), o BAPO (óxido de bis-acil fosfina) e o PPD (1-fenil-1,2-propanodiona) que têm seus picos de absorção a 380nm e 410nm respectivamente (CEFALY et al., 2005).

Os aparelhos de LED surgiram no mercado com os fabricantes alardeando que a sua intensidade de luz não decai com o tempo de uso, que a fotoativação não gera calor e conseqüentemente não necessitam de sistemas de refrigeração e que o consumo de energia é menor havendo a possibilidade de uso de aparelhos sem fio (OWENS e RODRIGUEZ, 2007). Entretanto os primeiros aparelhos de LED possuíam intensidades muito baixas, abaixo de 100mW/cm<sup>2</sup> (WATTS, AMER e COMBE, 1984), posteriormente surgiram aparelhos que utilizavam uma combinação de vários LEDs arranjados em um mesmo aparelho, fornecendo intensidades em torno de 300mW/cm<sup>2</sup> (DUNN e BUSH, 2002), com a

evolução foi possível obter aparelhos com intensidades semelhantes ou ainda superiores às apresentadas pelos de QTH (FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006).

A intensidade de luz mínima para polimerizar adequadamente um incremento de 2mm de resina composta é de cerca de  $400\text{mW/cm}^2$  por 60s (RUEGGEBERG, CAUGHMAN e CURTIS, 1994). É importante ainda que esta intensidade seja fornecida no comprimento de onda efetivo para a polimerização das resinas compostas (SHORTALL e HARRINGTON, 1996; LEONARD et al., 2001; FAN et al., 2002). Mesmo quando se utiliza aparelhos LED de baixa potência, se a densidade de energia for padronizada através do aumento do tempo de exposição destes aparelhos, observa-se resultados semelhantes aos da luz halógena quanto à dureza das resinas compostas (RAMP, BROOME e RAMP, 2006).

O grau de conversão das resinas compostas é diretamente influenciado pela quantidade de energia luminosa no comprimento de onda de 450 a 500nm que chega até a resina composta, e também pelo tempo transcorrido após a polimerização até a reação final. Existem controvérsias quanto ao tempo que uma resina composta leva para atingir sua dureza final se 01 dia (LEUNG, FAN e JOHNSTON, 1983), 01 semana ou 01 mês (WATTS, MCNAUGHTON e GRANT, 1986).

Testes mecânicos, como os de microdureza Knoop e Vickers são utilizados como medidores indiretos da conversão de resinas compostas, sendo capazes de predizê-la (RUEGGEBERG e CRAIG, 1988; OREFICE et al., 2003) visto que, cadeias curtas são associadas a um baixo módulo de elasticidade e baixa dureza, maiores valores de dureza são observados em moléculas com grande número de ligações cruzadas (TABOR, 1970). No entanto, a dureza das resinas compostas não são dependentes apenas do grau de conversão, mas principalmente da natureza das moléculas de monômero presentes na sua composição (ASMUSEN, 1982), da variedade na composição de carga inorgânica (TATE, PORTER E DOSCH, 1999) e da presença de co-iniciadores além da canforoquinona (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995).

O conceito de dureza é baseado na resistência à deformação localizada de um sólido. O teste de microdureza Knoop emprega cargas da ordem de gramas e pode ser utilizado para medir a dureza de regiões muito pequenas, as endentações são feitas com um diamante piramidal, que dá origem a uma impressão microscópica alongada (TABOR, 1970; SOUZA, 1982).

Quando são realizados testes para verificar a dureza de uma resina composta, duas metodologias distintas são comumente seguidas. A medição da dureza pode ser realizada diretamente no topo e na base destas amostras (QUANCE et al., 2001; DUNN e BUSH, 2002; REIS et al., 2003; AGUIAR et al., 2005; CEFALY et al., 2005; PERIS et al., 2005; ARAVAMUDHAN et al., 2006; RAY et al., 2006) ou elas podem ser seccionadas e polidas e a medição ser realizada no centro das amostras em diversas profundidades, pois a tira de poliéster não impediria a formação da camada inibida por oxigênio, havendo a necessidade de desprezar esta camada (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995; OBICI et al., em 2004; OBICI et al., 2005; FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006).

Diante desta realidade, é preciso saber se a dureza Knoop de uma resina composta é influenciada pelo tipo de aparelho fotopolimerizador utilizado, se de luz halógena ou de LED, pelo tempo que as amostras ficam armazenadas após a sua polimerização até a medição da dureza e pela metodologia utilizada para a realização desta medição.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

---

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo o perfil técnico da resina composta Filtek™ Z250 restaurador universal para dentes anteriores e posteriores, a fotoativação do material deve ser feita por luz de alta intensidade emitida no comprimento de onda entre 400 e 500nm. A carga inorgânica da Filtek Z250 é formada por zircônia/sílica. A quantidade de partículas inorgânicas é 60% em volume, com tamanhos entre 0,01 e 3,5µm. A Filtek Z250 contém as resinas Bis-GMA, UDMA e Bis-EMA. A polimerização deve ser feita em incrementos de 2,0mm por 30s para as cores B0.5, C4 e UD, e de 2,5mm por 20s para as demais cores.

Tabor (1970) afirmou que o conceito de dureza é baseado na resistência à deformação localizada de um sólido. Para testar a dureza de metais, é pressionado um endentador rígido na sua superfície e medida a área da endentação permanente formada. Um teste semelhante é usado para polímeros e outros materiais que escoam plasticamente. No teste Vickers, o diamante piramidal usado como endentador tem base quadrada e ângulo de 136° entre as faces opostas. No teste Knoop também é utilizado um diamante piramidal como endentador, mas sua forma é tal que dá origem a uma impressão piramidal alongada. A maioria dos métodos de endentação utilizados na indústria opera com cargas de dezenas ou centenas de quilogramas, e o tamanho da endentação é de cerca de um milímetro de diâmetro. Todo o processo pode, no entanto, ser miniaturizado, podendo ser utilizadas cargas da ordem de gramas, se o endentador tiver perfis muito bem definidos. Desta forma, devem ser utilizados microscópios de alta potência, pois as endentações são medidas em micrometros. Esses testes são conhecidos como medições de microdureza e fornecem um meio apropriado de estudar as propriedades de deformação de regiões muito pequenas, no entanto, uma das principais dificuldades é que vibrações podem causar falsos valores de dureza. A amostra deve ser consideravelmente maior do que a endentação para que efeitos das bordas não influenciem os resultados. Em geral, a distância do endentador a partir da borda da amostra (ou de outra endentação) deve ser três a quatro vezes maior que o diâmetro da endentação. Do mesmo modo, a espessura do espécime

deverá ser, pelo menos, três vezes o diâmetro, ou de oito a dez vezes a profundidade, da endentação. Caso contrário, o endentador poderá "perceber" a presença da superfície sobre a qual se assenta a amostra. Os polímeros sofrem deformação elástica quando se utiliza pequenas cargas, e a endentação pode desaparecer como resultado do relaxamento, para maiores cargas eles escoam de forma irreversível, havendo um comportamento da endentação semelhante ao dos metais. Em polímeros e materiais borrachóides, as propriedades elásticas e plásticas dependem do comprimento da cadeia, do grau de conversão e da cristalinidade do material. Cadeias curtas são associadas a um baixo módulo de elasticidade e baixa dureza. Maiores valores de dureza são observados em moléculas com grande número de ligações cruzadas.

Asmussen (1982) relacionou a dureza Wallace com a quantidade de duplas ligações restantes após a fotoativação de polímeros formulados a base de bis-GMA, para o experimento. Mediu a dureza de cinco polímeros experimentais, sendo três quimicamente polimerizáveis e dois fotoativados (um por luz visível e um por luz ultravioleta) e comparou com a quantidade de duplas ligações restantes. Seus resultados demonstraram que a dureza não varia concomitantemente com a quantidade de duplas ligações restantes, indicando que as propriedades mecânicas das resinas compostas não são dependentes apenas do grau de conversão, mas principalmente da natureza das moléculas de monômero presentes na sua composição. Os polímeros fotoativados, especialmente por luz visível, tiveram uma resistência à endentação comparavelmente maior.

Souza (1982) relatou que a medição da dureza por penetração é a mais largamente utilizada e citada nas especificações técnicas. Os testes de microdureza por penetração produzem uma impressão microscópica no material, empregando uma carga de 10gf a 01kgf com penetrador de diamante. A superfície do corpo-de-prova deve ser plana. Quanto ao tipo de penetrador utilizado, existem dois tipos de microdureza: Vickers e Knoop. O penetrador Vickers é uma pirâmide de diamante de base quadrada, com um ângulo de 136° entre as faces opostas, e o penetrador Knoop utiliza um penetrador em forma de pirâmide alongada que tem uma relação comprimento-largura-profundidade de aproximadamente 30:4:1. O cálculo da dureza é feito pela divisão da carga utilizada pela área projetada e é sempre fornecida em  $\text{kgf/mm}^2$ . A impressão Knoop é mais estreita que a Vickers, sendo possível então,

ser usada na determinação de dureza em camadas finas de materiais. Além disso, a medida da diagonal maior da impressão Knoop é cerca de três vezes maior que a da diagonal da impressão Vickers para uma mesma carga, sendo portanto de medição mais precisa e não sofre o fenômeno da recuperação elástica, principalmente para cargas maiores que 300g, que afeta mais a diagonal menor da dureza Knoop e as diagonais da impressão Vickers. A profundidade da impressão Knoop é menor que a metade da profundidade causada pela impressão Vickers com a mesma carga, sendo possível a dureza Knoop medir a dureza de materiais extremamente frágeis como vidro e tintas. A área de uma impressão Knoop é cerca de apenas 15% da área de uma impressão Vickers com a mesma carga. Em ambas as medições de microdureza, usando-se cargas muito baixas, pode haver uma pequena recuperação elástica, além de produzir impressões muito pequenas, que podem prejudicar a medida das diagonais devido à dificuldade de localizar suas pontas. O tempo de manutenção da carga deve ser por volta de 18s e a velocidade de aplicação da carga deve estar entre 01 e 20 $\mu$ m/s; velocidades maiores dão valores mais baixos de dureza. Quando são utilizadas cargas muito pequenas, erros na medida das diagonais ocasionam grandes equívocos na medida da microdureza.

Hansen (1983) realizou um estudo com a intenção de verificar o aumento da dureza superficial de quatro resinas compostas ativadas por três aparelhos fotopolimerizadores, durante 01hora após a irradiação. Deste modo, cavidades em dentina humana foram preparadas e preenchidas com as resinas compostas e polimerizadas por 20s, e a dureza Wallace foi testada após 01min e 35s, 01min e 40s, 01min e 45s, 02min, 03min e 30s, 05min, 06min e 30s, 08min, 11min, 14min, 17min, 20min e 60min. O teste de dureza Wallace mede a profundidade de penetração de um diamante Vickers. Encontrou que o maior aumento na dureza ocorreu nos primeiros minutos após a irradiação (>60% de 01min e 35s a 03min e 30s), apresentando o mesmo padrão para as quatro resinas compostas independente da fonte de luz utilizada.

Leung, Fan e Johnston (1983) investigaram a taxa de polimerização pós-irradiação com luz visível e os efeitos que a polimerização inicial promoveram na polimerização final de resinas compostas fotopolimerizáveis. Para isso foram preparadas amostras cilíndricas de 5mm de diâmetro e 2,5mm de espessura em matrizes de latão, e estas foram fotoativadas por 10, 15, 20 ou 40s com o aparelho

Prisma-Lite (Caulk Co). Foram feitas leituras de dureza Barcol no topo e na base das amostras imediatamente após a exposição e após 10, 20, 30, 40, 50 e 60min bem como após 01 e 07 dias. As amostras foram armazenadas a  $37\pm 2^{\circ}\text{C}$  em recipiente a prova de luz com 100% de umidade. Para cada combinação de tempo de exposição e tempo de armazenagem foram confeccionados dois corpos-de-prova e foram feitas três leituras de dureza Barcol em cada superfície dos mesmos. Quando se utilizava tempos menores de exposição como 10, 15 e 20s, encontrou-se um nível de dureza reduzido imediatamente após a exposição e um maior aumento da dureza quando medida 20min após a fotoativação, em relação às amostras polimerizadas pelo tempo recomendado ou aumentado (40 ou 60s), especialmente na base das mesmas. A diferença dos valores de dureza da base entre as amostras polimerizadas por 40 e 60s diminuiu com o tempo e tornou-se praticamente nula após 01 dia. Concluíram que a dureza das resinas compostas foi afetada tanto pelo tempo de exposição quanto pelo tempo de armazenamento, de forma especial na base das amostras. A polimerização alcançou seu ponto terminal em 01 dia. O aumento no tempo de ativação além do recomendado não aumentou significativamente o grau de polimerização.

Watts, Amer e Combe (1984) compararam a dureza Knoop, medida a intervalos de 0,2mm de profundidade, de cinco resinas compostas polimerizadas por cinco diferentes aparelhos fotopolimerizadores, com intensidades que variavam de 55 a  $110\text{mW}/\text{cm}^2$ , por 20, 40 e 60s. Além disso, observaram a profundidade em que o valor de dureza Knoop correspondia a 80% do valor máximo de dureza, para cada combinação de resina composta e aparelho fotopolimerizador. Concluíram que mesmo um aparelho com menor intensidade pode realizar uma cura satisfatória, desde que o tempo de exposição utilizado seja suficiente. Os valores de dureza máximos ocorreram na superfície fotopolimerizada ou próximo a esta, e dependeram em parte da percentagem de carga das resinas compostas. Sugeriram o uso de incrementos de no máximo 1,5mm e tempos de irradiação prolongados para as resinas compostas de cores mais escuras.

Watts, McNaughton e Grant (1986) estudaram o desenvolvimento da dureza superficial relacionado com o tempo e condições de envelhecimento. As amostras de quatro resinas compostas fotopolimerizáveis foram preparadas em matrizes de polipropileno com 04mm de diâmetro por 2,5mm de espessura e

fotoativadas por 60s e foram realizadas cinco medições de dureza Knoop com carga de 02N por 20s imediatamente após a polimerização e transcorridos 15, 30, 45 e 60min, 03 e 24h, 01semana e 01mês. Os 15 espécimes preparados foram separados em três grupos mantidos em diferentes condições: 20°C e 37°C secos e 37°C em água destilada. O aumento da dureza foi maior na primeira hora e a taxa de aumento maior a 37°C que a 20°C. Os materiais mantidos secos atingiram sua dureza máxima após 01mês, exceto duas resinas compostas que mantidas secas a 20°C atingiram a dureza máxima em 01semana. Os materiais mantidos em meio aquoso tiveram a dureza reduzida em comparação com os mantidos secos.

Rueggeberg e Craig (1988) realizaram um estudo com a proposta de desenhar um procedimento de teste no qual o grau de conversão pudesse ser controlado e medido em uma resina composta, sem submeter a amostra a desgastes ou polimentos. Além disso, determinaram e compararam a dureza Knoop e o grau de conversão quanto a sua sensibilidade de distinguir alterações nas amostras, quando estas eram polimerizadas através de diferentes espessuras de resina composta pré-polimerizada. Avaliaram ainda a viabilidade da dureza Knoop em predizer o grau de conversão. Encontraram que tanto a dureza quanto o grau de conversão reduziam com o aumento da espessura da camada de resina composta sobreposta à amostra durante a polimerização. Quando estava presente um alto grau de conversão, o teste de dureza era mais sensível, sendo capaz de detectar alterações muito pequenas, o que não acontecia com o teste do grau de conversão. O teste de dureza Knoop foi capaz de predizer o grau de conversão.

Rueggeberg (1993) estudou a precisão dos radiômetros portáteis. Testou a resposta de dois radiômetros a diminuições conhecidas da intensidade de luz que eram determinadas pela interposição de filtros e medidas por um espectrofotômetro. Examinou a influência da energia radiante fora da faixa requerida para a polimerização das resinas compostas (400 a 500nm), e ainda, comparou as leituras dos dois radiômetros submetidos a valores similares de intensidade. A precisão das leituras dos radiômetros portáteis foi considerada adequada, a influência da energia radiante fora da faixa requerida para a polimerização das resinas compostas foi considerada insignificante. Apesar de, para uma determinada intensidade, os dois medidores não forneceram exatamente o mesmo resultado, eles foram capazes de

identificar decréscimos na intensidade de luz mostrando-se ferramentas úteis para o monitoramento periódico da intensidade do aparelho pelos Cirurgiões-Dentistas.

Rueggeberg, Caughman e Curtis (1994) investigaram o impacto da variação de intensidade do aparelho fotopolimerizador e da duração da exposição sobre a cura das resinas compostas, verificada a diferentes profundidades. Para isso amostras de resina composta foram polimerizadas diretamente ou com a luz atravessando um bloco de resina pré-polimerizada de 01, 02 ou 03mm. A polimerização foi realizada pelos tempos de 20, 40, 60 e 80s e com intensidades de 800, 578, 400 e 233mW/cm<sup>2</sup>, e as amostras foram analisadas quanto ao seu grau de conversão por espectrometria. Verificaram que uma exposição de 60s e incrementos menores que 02mm são indicados para promover uma cura uniforme e compensar possíveis diminuições na intensidade de luz, sendo que a espessura de 1mm é a ideal para polimerizar cada incremento. Recomendaram uma intensidade de luz mínima de 400mW/cm<sup>2</sup> para a polimerização das resinas compostas.

Unterbrink e Muessner (1995) investigaram a influência da intensidade de luz em dois sistemas restauradores. Utilizaram dois aparelhos fotopolimerizadores de luz halógena com intensidades diferentes (Visilux2 – 450mW/cm<sup>2</sup> e Vivalux – 250mW/cm<sup>2</sup>) para polimerizar as resinas compostas Z100 e Tetric por 40s, e observaram a formação de fendas marginais em cavidades de dentina bovina, e profundidade de cura das duas resinas compostas. Para o teste de profundidade de cura as amostras de resina composta foram confeccionadas em matrizes de aço de 8mm de diâmetro por 6mm de espessura. Após a polimerização com um dos aparelhos supracitados, as amostras foram armazenadas em água a 37°C por 24h, seccionadas sob refrigeração abundante e feitas medições da dureza Vickers a cada 0,5mm de profundidade. Os valores de dureza máximos foram encontrados cerca de 0,5mm abaixo da superfície de incidência de luz, provavelmente devido à presença de uma camada de resina composta inibida pelo oxigênio. Não houve diferença estatisticamente significativa da dureza interna das resinas compostas testadas, até uma profundidade de 4,5mm, entre os dois aparelhos fotopolimerizadores. O uso de luzes de alta intensidade pode reduzir a qualidade do selamento marginal de restaurações com resina composta.

Shortall e Harrington (1996) realizaram uma revisão da literatura a respeito dos aparelhos fotopolimerizadores de luz halógena, a fim de guiar a

seleção, o uso e a manutenção destes. Expuseram que o aparelho fotopolimerizador ideal deve ter intensidade estável maior ou igual a  $300\text{mW}/\text{cm}^2$  no comprimento de onda efetivo para a polimerização das resinas compostas, suas ponteiros devem ser autoclaváveis, a unidade não deve superaquecer com o uso prolongado e o sistema de refrigeração deve ser silencioso, o aparelho deve ser leve, ter tempos de cura estabelecidos, sinais sonoros audíveis e poder ser desligado imediatamente caso necessário. Deve ser feito o monitoramento da sua intensidade e qualquer decréscimo nela observado deve ser investigado.

Pober (1998) relatou que existem duas geometrias comumente usadas para a mensuração da microdureza, que produzem diferentes formas de endentação na superfície da amostra: na Vickers é quadrada e na Knoop possui a forma de um losango com diagonais na proporção de 7:1. Para a mesma carga, a endentação Knoop não penetra tão fundo como a Vickers, no entanto, o teste Knoop é mais sensível aos efeitos e textura da superfície (rugosidade, defeitos de confecção). As endentações Vickers em geral requerem menores áreas de material para serem feitas, mas são mais propensas a produzir fraturas em materiais frágeis. As endentações Knoop têm uma geometria assimétrica que as torna mais sensíveis à orientação cristalográfica e outros efeitos de textura. Esta sensibilidade à orientação pode ser benéfica para testar certas fases, cristais únicos e compostos orientados. Quando se pretende testar um material, a espessura deste deve ser suficiente para que não haja qualquer interferência do substrato subjacente. A endentação deve ser larga o suficiente (mínimo de  $25\mu\text{m}$ ) para assegurar que o erro da medida da diagonal seja uma pequena fração de seu comprimento (0,4% ou  $0,25\mu\text{m}$ ). A carga do endentador deve ser especificada, pois o valor de dureza calculado é uma função da carga aplicada. O valor de dureza calculado para um determinado material diminui se a carga de teste aumenta até atingir um valor assintótico representativo da dureza “verdadeira”.

Tate, Porter e Dosch (1999) realizaram uma revisão da literatura a respeito da fotopolimerização com luz halógena. Diversos fatores podem afetar a polimerização das resinas compostas, como: intensidade do aparelho fotopolimerizador, espessura da camada de material restaurador, tipo, quantidade e tamanho das partículas de carga, cor, desenho da cavidade, distância da ponteira para o material restaurador, tempo de fotoativação e condições de manutenção do

aparelho fotopolimerizador. Enfatizaram a necessidade de monitorar o desempenho dos aparelhos fotopolimerizadores com radiômetros e testes simples de profundidade de cura e dureza superficial, a fim de perceber qualquer alteração em sua intensidade de luz.

A norma ISO 4049-2000 inclui os requerimentos de materiais poliméricos utilizados para preenchimento, restauração e cimentação em Odontologia. A profundidade de cura de um material restaurador a base de polímero deve ser de no mínimo 1,0mm (no caso de cores ditas opacas pelo fabricante) e 1,5 para os outros materiais de preenchimento e restauração. A não ser que seja especificado pelo fabricante para fazer de forma diferente, as espécimes devem ser preparadas e testadas a uma temperatura de  $(23\pm 1)^{\circ}\text{C}$  e umidade mínima de 30%. Se o material for armazenado resfriado, deixá-lo chegar à temperatura de  $(23\pm 1)^{\circ}\text{C}$ . Alguns materiais poliméricos possuem afinidade com metais o que pode dificultar a remoção dos espécimes da matriz metálica. Se esta afinidade for expressa pelo fabricante é necessário utilizar uma matriz não-metálica como a de polietileno de alta densidade. Para realizar o teste de profundidade de cura deve ser utilizada uma matriz de aço para o preparo dos espécimes cilíndricas com 06mm de altura por 04mm de diâmetro a não ser que o fabricante relate uma profundidade de cura maior que 03mm (neste caso a matriz deve ter no mínimo 02mm a mais que o dobro da profundidade de cura relatada). Um agente lubrificante que não interfira com a reação de polimerização pode ser usado para facilitar a remoção das espécimes das matrizes. A profundidade de cura é definida como 50% do comprimento da amostra de resina composta depois que a parte não polimerizada é removida através de raspagem com uma espátula plástica.

Leonard et al. (2001) realizaram um estudo para determinar a irradiação mínima requerida para polimerizar adequadamente um incremento de uma resina composta híbrida e uma de micropartículas. Para a confecção das amostras utilizou-se matrizes de politetrafluoroetileno com 02mm de altura por 08mm de diâmetro, que foram colocadas sobre uma lâmina de vidro, preenchidas com a resina composta híbrida (Z100 – 3M) ou microparticulada (Silux Plus – 3M), cobertas com outra lâmina de vidro, para que a superfície da resina composta ficasse plana e paralela à superfície da matriz. A fotoativação foi realizada em uma das superfícies por 40 ou 60s e com intensidades que variavam de 100 a  $700\text{mW}/\text{cm}^2$  com aumentos de

intensidade de  $25\text{mW/cm}^2$  para cada grupo de amostras. Após 24 horas foram feitos os testes de dureza Knoop utilizando uma carga de 100g por 10s, cada grupo era composto por cinco amostras e para cada superfície das amostras foram feitas três medições de dureza. Foi feita a média da dureza por superfície de cada amostra e em seguida, a média da dureza do topo e da base das cinco amostras de cada grupo. Foi então calculada a dureza relativa através da divisão da média da base pela média do topo dos grupos multiplicada por 100, se o valor excedia 80% a amostra era considerada adequadamente polimerizada. Uma regressão linear da irradiação *versus* dureza relativa foi feita e a equação resultante foi usada para prever a intensidade necessária para se obter uma dureza relativa de 80%. A resina composta híbrida precisou de  $260,1\text{mW/cm}^2$  por 40s ou  $185\text{mW/cm}^2$  por 60s e a resina composta microparticulada precisou de  $542,9\text{mW/cm}^2$  por 40s ou  $449,0\text{mW/cm}^2$  por 60s para atingir 80% de dureza relativa. Concluíram que existe uma grande diferença na quantidade de energia requerida para polimerizar adequadamente as resinas compostas Z100 (híbrida) e Silux Plus (microparticulada), o que pode acontecer devido à capacidade das pequenas partículas desta última resina composta causarem reflexão da luz polimerizadora. O valor normalmente aceito de  $300\text{mW/cm}^2$  foi efetivo na polimerização da resina composta híbrida mas insuficiente para polimerizar a resina microparticulada.

Quance et al. (2001) avaliaram o efeito da intensidade de exposição e da temperatura de armazenamento após a cura na dureza de resinas compostas fotoativadas. As amostras foram confeccionadas em uma matriz de Nylotron com dimensões de 04mm de diâmetro por 02mm de profundidade. Utilizou-se as resinas compostas Herculite XRV (nas opacidades de esmalte e dentina) e Prodigy (Kerr), Z100 e Silux Plus (3M), TPH (Dentsply), Petrac-Híbrid (ESPE) e Charisma (Kulzer). As amostras foram fotoativadas por 40s com o aparelho Prismetics Mk II (Dentsply) com a ponteira distante 0 ou 12mm da superfície da resina composta a fim de se obter intensidades de 500 ou  $200\text{mW/cm}^2$ . Todas as amostras foram confeccionadas a  $18^\circ\text{C}$  e imediatamente transferidas para recipientes com água, fechados e opacos mantidos nas temperaturas de 18 ou  $37^\circ\text{C}$  por 24h, quando foi feita a medição da dureza Wallace com carga de 01g por 15s mais 300g por 60s. Cada grupo continha cinco amostras, cuja dureza foi medida no topo e na base. Os valores de dureza variaram com o material, superfície, temperatura de armazenagem e intensidade de

luz. Em todos os casos a dureza na base foi menor que a dureza no topo, e a combinação de  $500\text{mW}/\text{cm}^2$  e  $37^\circ\text{C}$  produziu o melhor resultado de dureza na base. Apenas um dos sete produtos (TPH) obteve uma dureza na base maior que 80% da dureza do topo em todas as condições de teste. Concluíram que a composição do material tem uma influência significativa na dureza superficial. Apesar de ótimas condições de armazenagem após a cura, a exposição de  $200\text{mW}/\text{cm}^2$  por 40s não produziu dureza aceitável na base dos incrementos de 02mm da maioria dos materiais testados. Indicam a utilização de maiores intensidades de luz, maior tempo de exposição e/ou incrementos menores, com cerca de 01mm.

Burgess et al. (2002) relataram que a intensidade das lâmpadas de luz halógena decai com o tempo. O que ocorre pelo fato do bulbo se tornar mais opaco devido aos constantes ciclos de aquecimento e resfriamento. Além disso, a porção refletora da lâmpada pode se degradar fazendo com que a sua intensidade reduza ainda mais. Ressaltam as vantagens dos aparelhos de LED como a não geração de calor, a possibilidade de funcionar à bateria e a maior vida útil das lâmpadas. A intensidade dos LEDs situa-se em uma faixa de comprimentos de onda estreita com pico de emissão de luz entre 460 e 490nm, sem emissão de radiação infravermelha. Os LEDs são adequados para fotoativar materiais resinosos que tenham como fotoiniciador a canforoquinona, cuja máxima absorção ocorre a 468nm. Entretanto, não o são quando o material resinoso possui fotoiniciadores como 1-fenil-1, 2-propanodiona (com pico de absorção a 410nm) ou o óxido de bis-acilfosfina (com pico de absorção a 320nm).

Dunn e Bush (2002) realizaram um estudo para comparar a dureza Knoop na base e no topo de resinas compostas híbridas e microparticuladas polimerizadas por aparelhos de luz halógena e de LED. Foram fabricadas 20 espécimes de cada resina composta (Filtek Z250 - 3M – Híbrida e Renamel – Cosmedent – Microparticulada) na cor A1, que foram inseridas em uma matriz de polímero de 8 por 2mm de profundidade. A fotoativação foi realizada por um dos aparelhos de luz halógena (Optilux 400 e 501 - Demetron - com intensidades de 900 e  $1030\text{mW}/\text{cm}^2$  respectivamente) ou por um dos aparelhos de LED (LumaCure – LumaLite e Versalux – Centrix, ambos com  $150\text{mW}/\text{cm}^2$ ) por 40s. Os espécimes foram armazenados secos em um recipiente opaco por 24h e então testados quanto à dureza Knoop do topo e da base utilizando uma carga de 100g por 10s. Foi

realizado também o cálculo da relação de dureza da base para o topo. A dureza da resina de micropartículas foi menor independentemente do tipo de lâmpada utilizada, os valores de dureza obtidos com a luz halógena foram maiores para ambas as resinas compostas e para as duas superfícies analisadas. Ressaltaram que a relação de dureza entre a base e o topo pode ser mal-interpretada visto que um espécime que não obteve uma alta dureza no topo, mas obteve uma dureza semelhante na base, pode ter uma boa relação entre o topo e a base superando os 80% desejados.

Fan et al., em 2002 investigaram se a profundidade de cura de diversas cores de cinco marcas comerciais de resinas compostas atendiam às especificações da norma ISO 4049-2000 quando irradiadas por um aparelho fotopolimerizador com intensidade de  $300\text{mW}/\text{cm}^2$ . Com esta intensidade e o tempo de ativação indicado pelo fabricante de cada resina composta, 13 (62%), das 21 resinas compostas testadas, atingiram ou superaram a exigência de 1,5mm, no mínimo, de profundidade de cura. Com o dobro do tempo de ativação recomendado pelo fabricante apenas duas resinas compostas não atingiram as exigências. Concluíram que um fotopolimerizador com a intensidade de  $300\text{mW}/\text{cm}^2$  polimeriza a maioria das cores de resinas compostas com o tempo recomendado pelo fabricante, mas em alguns casos é necessário um maior tempo de exposição. Desta forma, relata ser útil que os Cirurgiões-dentistas realizem um teste simples como o proposto pela ISO com as resinas compostas dos consultórios odontológicos a fim de conhecer o tempo mínimo de exposição necessário para atingir a profundidade de cura de 1,5mm.

Hammesfahr, O'Connor e Wang (2002) relataram que a tecnologia dos aparelhos de luz halógena está disponível há muitos anos, e a sua intensidade aumentou com o passar dos anos, permitindo a cura de materiais resinosos com menores intervalos de tempo. No entanto estes aparelhos apresentam algumas desvantagens. Uma delas é que o espectro de emissão das lâmpadas destes aparelhos é muito amplo, indo desde a radiação infravermelha até a ultravioleta. Desta forma a luz emitida necessita ser filtrada para emitir apenas a luz azul. Além disso, devido à emissão de luz infravermelha, acontece uma grande emissão de calor, que necessita ser eliminado através de mecanismos de refrigeração. Outra desvantagem é que o bulbo se degrada com o tempo, provocando uma diminuição

da intensidade. Por último, o filtro também pode degradar, devido à grande exposição ao calor, permitindo a passagem de comprimentos de onda indesejáveis que podem inclusive causar danos pulpares. Já os LEDs tiveram seu desenvolvimento mais recente, emitindo luz azul, restrita aos seus comprimentos de onda, e dispensando assim o uso de filtros e mecanismos de refrigeração. Os LEDs ainda consomem muito menos energia que os aparelhos de QTH, podendo inclusive funcionar a bateria, e têm um tempo de vida esperado de milhares de horas comparado a menos de 100 horas dos aparelhos de luz halógena.

Tarle et al., em 2002, realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o grau de conversão e aumento de temperatura em três diferentes resinas compostas quando fotoativadas por uma fonte de luz de arco de plasma e luz halógena tradicional. As resinas compostas Z250, Tetric Ceram e Pertac II foram irradiadas com um aparelho experimental LED com apenas  $9\text{mW/cm}^2$ , um de arco de plasma com  $1370\text{mW/cm}^2$  e um de luz halógena convencional com  $560\text{mW/cm}^2$ . Os resultados mostraram grau de conversão significativamente maior no caso da polimerização com luz halógena, no entanto, o aumento de temperatura foi significativamente mais baixo quando LEDs e a luz de plasma eram utilizados. Além disso afirmaram que os aparelhos de LED apresentam maior irradiação no comprimento de onda de 470nm, que corresponde ao coeficiente de absorção máximo da canforoquinona.

Orefice et al. (2003) monitoraram o grau de conversão, através de espectroscopia infravermelha, de uma resina composta, durante a sua fotoativação, e o relacionaram com a sua dureza Vickers. Quanto maior o grau de conversão da resina composta, maior era a sua dureza, o que mostrou uma relação direta entre os dois parâmetros.

Reis et al. (2003) avaliaram a influência de duas fontes de luz na microdureza de uma resina composta. Os corpos-de-prova foram confeccionados com a resina composta Filtek Supreme/3M-ESPE, na cor A2, que foi inserida em uma matriz de nylon com dimensões de 03mm de diâmetro por 02mm de profundidade. A fotoativação foi realizada por dois aparelhos à base de LED (Freelight 3M-ESPE e Ultraled Dabi Atlante, com intensidade de  $300\text{mW/cm}^2$  e  $160\text{mW/cm}^2$  respectivamente), e um aparelho de luz halógena (Ultralux - Dabi Atlante com intensidade de  $500\text{mW/cm}^2$ ) por 40s através de uma tira de poliéster.

Para cada grupo foram confeccionadas 10 amostras. As amostras foram armazenadas por 24h em água destilada no interior de frascos de cor negra, e a medição da dureza Knoop foi feita com 03 endentações de 25g por 20s no topo e base das amostras. O aparelho de LED Freelight forneceu resultados de dureza semelhantes aos obtidos com o aparelho de luz halógena. O aparelho LED Ultraled proporcionou os piores resultados de dureza Knoop entre os grupos avaliados. A dureza Knoop do topo foi sempre maior que a dureza da base.

Coffey et al. (2004) com o objetivo de determinar o tempo de exposição mínimo para se atingir valores de microdureza otimizados para o topo e para a base de amostras de resina composta polimerizadas com um aparelho de luz halógena cuja intensidade era de  $600\text{mW}/\text{cm}^2$ . Produziram as amostras em matrizes de nylon com orifício central de 8mm de diâmetro por 1,5mm de espessura e as polimerizaram por 05, 10, 15, 20, 30, 40 ou 60s através de uma lâmina de vidro de 0,9mm. Posteriormente foram armazenadas secas a  $20^\circ\text{C}$  e avaliadas quanto à dureza Vickers, com carga de 300g por 10s, no topo e base das amostras, 01h e 24h após a polimerização. A análise estatística foi realizada utilizando o programa computacional de estatística SPSS 11.0 (SPSS). Foram utilizados o teste de análise de variância de medidas repetidas (ANOVA) e *post-hoc* de múltiplas comparações pareado Bonferroni test e adotado o nível de significância de 5%. Houveram diferenças estatísticas tanto entre os tempos de armazenagem, quanto entre às superfícies analisadas e aos tempos de exposição. Concluíram que os valores de microdureza são dependentes do tempo de exposição, tempo de armazenagem e superfície avaliada. Em todos os casos a dureza do topo foi maior que da base e a dureza após 24h maior que em 01h. A dureza do topo, da base e a dureza relativa aumentaram com o tempo até um limite a partir do qual, mesmo aumentando o tempo a dureza não aumentava. A dureza relativa é dependente apenas do tempo de exposição, não aumentando com o tempo de armazenagem.

Keogh et al. (2004) realizaram um estudo a fim de determinar o tempo de exposição mínimo relacionado com valores otimizados de microdureza, para uma profundidade de cura fixa, de uma resina composta polimerizada com um aparelho fotopolimerizador de LED ( $259\text{mW}/\text{cm}^2$ ). As amostras foram confeccionadas em matrizes de nylon, com orifício central de 8mm de diâmetro por 1,5mm de espessura, e polimerizadas por 05, 10, 15, 20, 30 ou 40s através de uma lâmina de

vidro de 0,9mm. Posteriormente foram armazenadas secas a 20°C e avaliadas quanto a dureza Vickers, sob carga de 300g por 10s, no topo e na base das amostras 01h e 24h após a polimerização. A análise estatística foi realizada utilizando um programa computacional de estatística (SPSS 11.0, SPSS). Foram utilizados o teste de análise de variância de medidas repetidas (ANOVA) e testes post-hoc e o nível de significância adotado foi de 5%. Houveram diferenças estatísticas tanto entre os tempos de armazenagem, quanto entre às superfícies analisadas e aos tempos de exposição. Concluíram que os valores de microdureza são dependentes do tempo de exposição, tempo de armazenagem e superfície avaliada. Em todos os casos a dureza do topo foi maior que da base e a dureza após 24h maior que em 01h. A dureza relativa foi dependente apenas do tempo de exposição, não aumentando com o tempo de armazenagem. Um tempo mínimo de polimerização de 40s foi apropriado para otimizar os valores de microdureza, para a combinação resina composta e lâmpada utilizada. A dureza relativa sugeriu adequada polimerização do incremento de 1,5mm de resina composta. Relataram ainda que o uso de amostras em forma de disco, onde a ponteira do aparelho fotopolimerizador encontra-se em contato apenas com a superfície superior, permitiu a determinação da dureza relativa que é indicativa da sua profundidade de cura.

Obici et al. (2004) avaliaram a profundidade de cura e a dureza Knoop da resina composta Filtek P60 (3M) utilizando-se diferentes métodos. Os corpos-de-prova foram confeccionados em uma matriz bipartida com dimensões de 3mm de diâmetro por 11mm de profundidade e polimerizados com luz halógena (Elipar Trilight – 3M-ESPE) nas formas contínua (800 mW/cm<sup>2</sup> por 40s), exponencial (0 a 800 mW/cm<sup>2</sup> por 40s) e pulso (600mW/cm<sup>2</sup> x 2s e 2s sem luz por 80s), luz de arco de plasma (Apolo 95E - DMD - 1320 mW/cm<sup>2</sup> por 3s) e um aparelho de LED (LEC 470 1 - MMOptics - 100mW/cm<sup>2</sup> por 40s). Após a fotoativação a matriz foi aberta e todo o material não-polimerizado foi removido com uma espátula, a parte polimerizada da resina composta foi medida com um paquímetro digital que foi posicionado no centro da amostra determinando a profundidade de cura. As amostras foram então incluídas em resina acrílica, seccionadas ao meio e polidas. Após 24horas a dureza Knoop foi medida na superfície e nas profundidades de 01, 02, 03, 04 e 05mm com uma carga de 50g por 15s. Foram realizadas cinco leituras em cada região e obtidas as médias. O modo de pulso foi o que forneceu maior

profundidade de cura sendo estatisticamente diferente dos demais métodos, seguido pela forma contínua e exponencial sem diferenças estatísticas entre as duas, as menores profundidades de cura foram obtidas pela luz de arco de plasma e LED. Até 02mm todos os métodos forneceram valores de dureza Knoop semelhante, mas em profundidades de 03mm ou mais o aparelho de LED foi o que forneceu menor valor de dureza seguido pelo arco de plasma.

Yoldas, Akova e Uysal (2004) pretenderam determinar a influência de diferentes cargas de endentação e tempo de permanência no número de dureza Knoop (KHN) de diferentes tipos de resinas compostas. Amostras das resinas compostas TPH (Dentsply), Tetric Ceram (Vivadent) e Surefil (Dentsply) foram confeccionadas em uma matriz cilíndrica de 02mm de espessura x 08mm de diâmetro e polimerizadas com um mesmo aparelho por 40s. Foram formados seis grupos (n=15) através da combinação da carga de endentação (50, 100 ou 500g) e tempo de permanência (15 ou 20s) e a microdureza foi medida três vezes em cada corpo-de-prova. Com exceção dos testes que utilizaram carga de 50g, houve diferença estatística entre a dureza das três resinas compostas independente do tempo de endentação. Sugeriram que, quando se testa resinas compostas, cargas menores podem resultar em impressões pequenas e perímetros de impressão incertos e que o tempo de 15s parece ser suficiente. Concluíram que há necessidade de se determinar e padronizar o limite mínimo de carga para endentação de resinas compostas a fim de evitar erros nas medições de dureza e permitir as comparações entre diferentes estudos.

Aguiar et al. (2005) estudaram o efeito da distância da ponteira de luz e da cor na microdureza superficial da resina composta híbrida Z250 (3M-ESPE). Quarenta e cinco espécimes cilíndricos de 04x02mm foram confeccionados em matriz de teflon e separados em nove grupos (n=5) de acordo com a cor da resina composta (A1, A3,5 ou C2) e a distância da ponteira do fotopolimerizador (02, 04 ou 08mm). A fotopolimerização foi realizada com o aparelho de luz halógena XL3000 (3M-ESPE – 550mW/cm<sup>2</sup>) por 20s. Os espécimes foram removidos e mantidos na temperatura de 37°C e umidade relativa de 95%±5 por 24h e então testados quanto à dureza Knoop com carga de 25g por 10s, sendo realizadas cinco medições no topo e cinco na base. A dureza no topo das amostras foi maior que a dureza na base. Quanto à cor, não houve diferenças estatísticas no topo, mas na base a cor

A1 teve dureza significativamente maior que a cor C2, e a cor A3,5 apresentou resultados intermediários, não diferindo significativamente das outras duas. Para o topo não houve diferença entre os valores de dureza obtidos com as três distâncias da ponteira, e para a base a dureza obtida com a ponteira 8mm distante da resina foi significativamente menor que com as outras duas distâncias.

Segundo Anusavice (2005), em metalurgia e na maioria das outras áreas, o conceito de dureza mais geralmente aceito é o de resistência à penetração, e é neste preceito que a maioria dos testes de dureza são planejados. A penetração produzida na superfície de um material, a partir de uma carga aplicada por uma ponta fina ou partícula abrasiva, resultam da interação de numerosas propriedades relacionadas com a dureza de um material, como resistência à compressão, limite de proporcionalidade e ductilidade. Existem vários tipos de testes de dureza superficial e a maioria é baseada na capacidade da superfície do material de resistir à penetração por uma ponta de diamante ou esfera de aço sob uma carga específica, e a seleção deve ser determinada de acordo com o material a ser utilizado. O teste de dureza Knoop utiliza um penetrador de diamante em forma de pirâmide roboédrica. O formato da penetração é de losango, e o comprimento da diagonal maior é medido. A área projetada é dividida pela carga aplicada para fornecer o número de dureza Knoop (KHN – Knoop hardness number). Em virtude da forma do penetrador Knoop, há uma recuperação elástica do formato da penetração projetada após a penetração e remoção do penetrador que ocorre primariamente no longo eixo da diagonal menor. As tensões produzidas no ensaio são distribuídas de tal forma que somente a dimensão do eixo menor fique sujeita às alterações por relaxamento, logo, o valor de dureza praticamente independe da ductilidade do material testado. A dureza do esmalte dental pode ser comparada à dureza do ouro, porcelana, resina ou outros materiais restauradores. Além disso a carga pode variar em grande escala, desde 0,1kgf a mais de 01kgf, de modo que se possa mensurar valores de dureza para materiais extremamente duros ou macios por meio deste teste. Os testes de dureza Knoop e Vickers são classificados como de microdureza, em comparação com os testes de macrodureza Brinell e Rockwell. Os testes de dureza Knoop e Vickers empregam cargas menores que 9,8N. As penetrações resultantes são pequenas e limitadas a uma profundidade menor que

19 $\mu$ m, possibilitando a medição da dureza em pequenas regiões de objetos muito finos.

Cefaly et al. (2005) realizaram um estudo para verificar a microdureza de materiais resinosos ativados com aparelho um aparelho de luz halógena e um de LED. Foram feitas 20 amostras de 2mm de altura por 3mm de diâmetro de cada um dos seguintes materiais: Z100 (resina composta - 3M-ESPE); Definite (resina composta - Degussa); Dyract (compômero - Dentsply) na cor A2. Cada grupo foi dividido em quatro (n=5) que foram polimerizados por um aparelho de luz halógena (Curing Light 2500 - 3M-ESPE - 760 mW/cm<sup>2</sup>) e um LED (Ultraled - Dabi Atlante - 130mW/cm<sup>2</sup>) por 40 ou 60s. As amostras foram armazenadas por 24h em recipientes à prova de luz contendo água destilada. A Dureza Vickers foi medida no topo e na base das amostras através de três penetrações realizadas com carga de 50g por 15s. Concluíram que a dureza obtida na base com o aparelho LED foi menor que a obtida com o aparelho de luz halógena para os materiais testados. Além disso, o aparelho LED testado não teve o mesmo desempenho que a luz halógena para polimerizar a resina composta Definite, provavelmente porque esta possui uma combinação de fotoiniciadores, e não apenas canforoquinona. A resina composta Z100 teve maior dureza que a Dyract e a Definite, entre estas não houve diferença se fotoativadas com o aparelho de LED e a Definite teve maior dureza que a Dyract quando fotoativadas com a luz halógena. Na base das amostras o tempo de ativação de 60s foi responsável por valores mais altos de dureza. Para a resina composta Z100 fotoativada com ambas as lâmpadas e para a Dyract fotoativada com a luz halógena não houveram diferenças ente o topo e a base das amostras, enquanto para a resina composta Definite fotoativada com ambas as lâmpadas e para a Dyract fotoativada com o LED a dureza no topo foi maior que na base.

Obici et al. (2005) avaliaram o grau de conversão e a dureza Knoop da resina composta Z250 (3M-ESPE) cor A3. As amostras de resina composta foram confeccionadas em matrizes de latão de 06mm de diâmetro por 02mm de espessura e fotoativadas por um dos seguintes sete métodos: luz halógena na forma contínua (Elipar Trilight - 3M - 800mW/cm<sup>2</sup> por 40s), exponencial (Elipar Trilight - 0 a 800mW/cm<sup>2</sup> por 40s), pulso (XL 2500 - 3M - 600mW/cm<sup>2</sup> x 2s e 2s sem luz por 80s) e dois passos (XL 2500 - 3M - 150mW/cm<sup>2</sup> x 10s + 650mW/cm<sup>2</sup> x 30s), luz de arco de plasma (Apolo 95E - DMD - 1320mW/cm<sup>2</sup> por 3s) e dois aparelhos de LED (LEC

470 1 - MMOptics -  $100\text{mW}/\text{cm}^2$  por 40s e Elipar Freelight - 3M -  $350\text{mW}/\text{cm}^2$  por 40s). O grau de conversão foi avaliado através de espectofotometria. As amostras utilizadas para a medição de dureza foram incluídas em resina acrílica e desgastadas longitudinalmente até o centro com lixas d'água de granulações decrescentes de 320, 400, 600 e 1000. Após 24h de armazenagem foram feitas 05 leituras de dureza Knoop na superfície, 01 e 02mm de profundidade. Não houve diferenças estatísticas no grau de conversão entre os métodos de fotoativação analisados, demonstrando que todas as técnicas são capazes de polimerizar a resina Z250 na espessura de 02mm. Quanto à dureza Knoop, os valores mais altos foram encontrados para a luz halógena na forma contínua, seguida pela técnica em dois passos, exponencial e o LED da marca 3M sem diferenças entre eles. O aparelho de LED da marca MMOptics demonstrou o menor valor de dureza. Concluíram que deve-se ter cuidado ao considerar a dureza como indicativo de grau de conversão pois amostras com grau de conversão semelhante podem ter dureza Knoop diferente.

Peris et al. (2005) avaliaram a influência do tipo de aparelho fotopolimerizador e do tipo de resina composta na sua dureza Knoop. As amostras de dimensões 04x02mm foram preparadas em uma matriz metálica com a resina composta Z250 (3M – Microhíbrida) e Durafil VS (Heraeus Kulzer – micropartículas) e fotopolimerizadas por um aparelho de luz halógena (Optilux 501, Kerr –  $866\text{mW}/\text{cm}^2$ ) ou um dos quatro aparelhos de LED (Elipar FreeLight 1 – 3M-ESPE -  $282\text{mW}/\text{cm}^2$ , Ultrablue II – DMC -  $130\text{mW}/\text{cm}^2$ , Ultrablue III – DMC -  $130\text{mW}/\text{cm}^2$  ou LEC 470 I – MMOptics –  $91\text{mW}/\text{cm}^2$ ) por 40s. Os espécimes foram armazenados em água destilada e após 24h foi feita a medição da dureza Knoop com uma carga de 10g por 10s em cinco pontos distantes 01mm entre si no topo e na base das amostras. Para a resina composta microhíbrida, o aparelho Freelight 1 foi o único de LED que forneceu dureza semelhante ao de luz halógena tanto no topo quanto na base das amostras. Para o grupo da resina composta microparticulada, não houve diferença estatística entre todos os aparelhos na base, mas o aparelho de luz halógena forneceu maior dureza no topo das amostras que todos os aparelhos de LED. Apenas a resina DurafilVS polimerizada pelo aparelho de luz halógena não obteve uma relação entre a dureza do topo e da base maior que 80%. A resina

composta de micropartículas apresentou uma dureza significativamente menor que a resina microhíbrida.

Shortall (2005) realizou uma pesquisa com o intuito de verificar o anúncio de um fabricante de aparelhos para fotopolimerização de que seu novo aparelho (Freelight 2 – 3M-ESPE) seria capaz de polimerizar resinas compostas, cujo iniciador fosse a canforoquinona, em metade do tempo de seu antecessor. Para isso ele verificou a profundidade de cura obtida em todas as cores da resina composta Z250 (3M-ESPE) quando polimerizadas pelos aparelhos de LED Freelight 1 (346mW/cm<sup>2</sup> por 40s) e Freelight 2 (1037mW/cm<sup>2</sup> por 40 e 20s) e também por um de luz halógena do mesmo fabricante (XL 3000 - 716 mW/cm<sup>2</sup> por 40s). As matrizes de Nylotron com 04mm de diâmetro por 08, 10 ou 12mm de altura foram preenchidas com a resina composta e fotoativadas através de uma tira de matriz de poliéster após a compressão com uma lâmina de vidro. Após 30 segundos da irradiação, a matriz foi invertida e foi feita a medida da profundidade de cura, utilizando-se um penetrômetro com agulha de 0,5mm de diâmetro e força de 12,5N. Averiguou que com os mesmos 40s a profundidade de cura obtida foi como segue Freelight 2 > QTH > Freelight 1. Nenhuma diferença significativa foi verificada na profundidade de cura quando foram utilizados o Freelight 1 por 40s ou o Freelight 2 por 20s. As cores que tiveram menor profundidade de cura foram B0,5, B1 e UD, que eram as cores mais opacas. Concluíram que a translucidez de uma resina composta é mais importante que a cor para predizer a sua profundidade de cura.

Aravamudhan et al. (2006) conduziram um estudo da irradiação e fotoativação de sete aparelhos de luz LED disponíveis comercialmente (CoolBlu – Dental Systems International; E-Light – GC America; Elipar FreeLight – 3M-ESPE; FLASH-lite – Discus Dental; Hilux LED MAX 1 – First Medica; L.E.Demetron 1 – Kerr Dental; Ultra-Lume LED 2 – Ultradent) e compararam seu desempenho com um aparelho de luz halógena (Optilux 400 – Kerr Dental). Eles mediram a intensidade de luz (segundo a norma ISO10650-1 e com radiômetros comerciais), profundidade de cura (segundo a norma ISSO 4049-2000), grau de conversão, dureza e aumento de temperatura. Apenas o aparelho L.E.Demetron 1 apresentou profundidade de cura maior que o controle. Dois aparelhos de LED precisaram de tempo adicional para atingir o mesmo grau de dureza do aparelho de luz halógena. A dureza relativa das resinas compostas polimerizadas por apenas um dos aparelhos LED (Hilux LED

MAX 1) ficou abaixo de 80%. Concluíram que os dois tipos de aparelhos fotopolimerizadores podem ser utilizados, podendo ser necessário um maior tempo de exposição ou incrementos menores no caso de alguns aparelhos de LED.

Felix, Price e Andreou (2006) compararam o efeito de tempos de exposição reduzidos na dureza de dez marcas comerciais de resinas compostas polimerizadas com LED de segunda geração e luz halógena. As amostras de resina composta (cor A2 ou mais clara) foram confeccionadas em matrizes feitas de molares humanos com 1,5mm de largura por 04mm de profundidade e polimerizadas com três aparelhos de LED (Freelight 2 – 3M-ESPE) em sua potência máxima por metade do tempo recomendado pelo fabricante da resina composta ou por três de luz halógena (Trilight – 3M-ESPE) em sua potência máxima por metade do tempo recomendado pelo fabricante da resina composta ou com metade da sua potência pelo tempo recomendado. A distância da ponteira era de 0, 02 e 9mm da resina composta. As amostras foram guardadas secas a temperatura ambiente antes do teste de dureza, que foi realizado com carga de 100g por 15s no centro das amostras nas profundidades de 0.5, 01, 1.5, 02, 2.5, 03 e 3.5mm. O aparelho de LED foi o que forneceu maior irradiação nas distâncias de 0 e 02mm, enquanto a luz halógena com intensidade total teve maior irradiação a 09mm de distância. A 02mm os valores de dureza obtidos com o LED com metade do tempo de exposição foram melhores ou equivalentes ao obtidos com a luz halógena nos dois outros grupos. A 09mm de distância o LED foi melhor ou semelhante à luz halógena em obter dureza até a profundidade de 1,5mm, além da qual as resinas compostas polimerizadas com LED tinham valores de dureza reduzidos.

Ramp, Broome e Ramp (2006) mediram e compararam a dureza de duas resinas compostas (Z100 – 3M e Esthet X – Dentsply) polimerizadas por um aparelho de LED de baixa potência ou por um de luz halógena. Os aparelhos de LED e luz halógena tinham irradiações totais diferentes de 250 e 650mW/cm<sup>2</sup> respectivamente e, quando se restringia a irradiação na região correspondente à máxima absorção da canforoquinona, também apresentavam diferenças na irradiação (210 e 289mW/cm<sup>2</sup> respectivamente). Para que os aparelhos apresentassem energia radiante semelhante na região entre 450 e 490nm, foi aumentado o tempo de exposição utilizado para o LED em 33% e desta forma a energia fornecida pelo LED nesta faixa era de 8,4J/cm<sup>2</sup> e de 8,7J/cm<sup>2</sup> para a luz

halógena. As amostras das resinas compostas na cor A2 foram confeccionadas em anéis de latão com diâmetro de 03mm e espessura de 02mm, polimerizadas com um dos aparelhos e armazenadas em água deionizada por 24h. O teste de dureza Vickers foi então realizado no topo e na base das amostras com três endentações em cada superfície, utilizando-se carga de 500g por 15s. Para a análise estatística, os testes empregados foram o ANOVA multivariado e post-hoc de Tukey-Kramer ( $\alpha=0,05$ ), para verificar diferenças na dureza de cada grupo com base no método de cura e tipo de resina composta. Para cada grupo foi obtida a dureza relativa, através da divisão da média da dureza da base pela média da dureza do topo das amostras. Não foram encontradas diferenças de dureza entre o topo e base das amostras. Apesar dos valores de dureza obtidos com o LED terem sido maiores que com a luz halógena, esta diferença não foi estatisticamente significativa. A resina composta Z100 apresentou valores de dureza maiores que a Esthet-X. Concluíram que, dentro dos parâmetros deste estudo a polimerização com LED de baixa potência é uma alternativa aos aparelhos de luz halógena, quando energias equivalentes são utilizadas na faixa de absorção da canforoquinona. Devido à grande complexidade das interações que podem ocorrer, o método de fotopolimerização deve ser escolhido levando-se em consideração a composição do material restaurador, o tipo de luz utilizada, a presença de co-iniciadores e a profundidade do incremento de resina composta.

Ray et al. (2006) realizaram uma pesquisa com a finalidade de comparar a microdureza da resina composta Spectrum TPH (Dentsply) cor A3 obtida em duas pesquisas anteriores, sendo uma com luz halógena e a outra com LED. Amostras de 1,5mm de espessura da resina composta foram polimerizadas em uma matriz de Nylon com o aparelho XL3000 (3M – 630 mW/cm<sup>2</sup>) de luz halógena ou com o Freelight (3M – 310 mW/cm<sup>2</sup>) por 5, 10, 15, 20, 30 e 40s. As amostras foram armazenadas secas em uma caixa opaca a 20°C. A dureza Vickers foi obtida 01 hora ou 24 horas após o início da polimerização para cada aparelho e tempo de exposição. As endentações foram realizadas com uma carga de 300g por 10s, no topo e na base das amostras, e feita a relação entre a dureza da base e do topo. Ambos os aparelhos produziram dureza similar tanto no topo quanto na base das amostras e produziram uma relação de dureza base/topo similar desde que houvesse suficiente tempo de exposição (20 a 30s) e tempo decorrido antes da

medição. A maturação foi mais efetiva para o aparelho de luz halógena em todos os tempos de exposição houve um aumento significativo da dureza de 01h para 24h, e para o LED, a dureza atingida em 01h não variou, desde que os tempos de exposição fossem maiores que 15s. Concluíram que o tempo de exposição é mais crítico para o LED e o tempo transcorrido após a exposição é mais crítico para a luz halógena.

Barghi, Fischer e Pham (2007) realizaram um estudo para examinar a densidade de potência e fatores relacionados de 161 aparelhos fotopolimerizadores, de 65 consultórios dentários localizados em duas áreas metropolitanas no estado americano do Texas, e compararam os resultados com os obtidos em uma pesquisa semelhante realizada dez anos antes. Utilizaram três radiômetros para medir a intensidade de luz de cada aparelho, e quando havia um radiômetro no consultório, também era feita uma medição com ele. Foi avaliado o tipo de aparelho fotopolimerizador, seu tempo de uso, o número de vezes que era utilizado por dia, sua manutenção e a quantidade de resina composta aderida à ponteira do aparelho. As porcentagens de aparelhos de luz halógena, LED e Arco de plasma foram de 78,8%, 13,6% e 7,4% respectivamente. A prevalência de luzes com baixa intensidade foi mais alta entre os aparelhos de luz halógena. 77% dos aparelhos tinham resíduos aderidos à ponteira que poderiam estar diminuindo a intensidade de luz transmitida. Cerca de 10% dos aparelhos tinham intensidades menores que  $250\text{mW}/\text{cm}^2$  e aproximadamente 65% tinham intensidades maiores que  $500\text{mW}/\text{cm}^2$ . Muitos dos radiômetros existentes nos consultórios não faziam leituras da intensidade de forma acurada.

Owens e Rodriguez (2007) mediram a intensidade de quatro aparelhos fotopolimerizadores de LED (Coltolux - Coltene/Whaledent, Diopower - CMS Dental, radii Plus - Southern Dental Industries, Smartlite PS - Dentsply/Caulk), e um de luz halógena (Schein Visible Cure - Sullivan-Schein Dental). A densidade de potência (intensidade) de cada aparelho fotopolimerizador foi medida por seis radiômetros portáteis, dos quais quatro eram desenvolvidos para a medição de intensidade de aparelhos de luz halógena, um para LED e um para ambos os tipos. Foram medidos ainda o espectro de emissão de cada aparelho e o consumo de bateria dos aparelhos de LED. O aparelho radii Plus apresentou a intensidade média mais alta e o Diopower a média mais baixa. Os aparelhos de LED apresentaram um espectro de

emissão restrito com picos entre os comprimentos de onda de 470 a 500nm, já o aparelho de luz halógena apresentou um espectro mais amplo com pico em 520nm. Quando comparados às especificações dos fabricantes, apenas o aparelho Coltolux preenchia as qualificações radiométrica (intensidade) e espectrofotométrica (comprimento de onda emitido). Nenhum aparelho de LED apresentou redução intensa na intensidade de luz após 1500s de consumo de bateria. Ressaltaram que os radiômetros portáteis são ferramentas baratas que permitem o monitoramento dos aparelhos fotopolimerizadores.

Gritsch et al. (2008) realizaram uma pesquisa para avaliar a influência do espectro de emissão de luz na polimerização de duas resinas compostas nanohíbridas e encontrar a melhor combinação de densidades de potência e de energia para obter os maiores valores de microdureza no topo e na base das amostras. As amostras foram preparadas com as resinas compostas Ceram X (Dentsply Caulk) e Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent), em matrizes de Teflon com 10mm de comprimento por 04mm de largura e 03mm de profundidade, e fotoativadas através de uma tira de poliéster. Foram utilizados dois aparelhos de LED, Bluephase (Ivoclar Vivadent) e Elipar Freelight 2 (3M ESPE) e um de QTH, Astralis 10 (Ivoclar Vivadent), e as seguintes combinações de densidade de energia e densidade de potência: 08J e 400mW/cm<sup>2</sup>; 08J e 1000mW/cm<sup>2</sup>; 16J e 400mW/cm<sup>2</sup>; 16J e 1000mW/cm<sup>2</sup>. Para cada grupo confeccionou-se 10 amostras, que foram armazenadas em água destilada a 37°C por 24h. Realizaram duas medições da dureza Vickers em cada superfície das amostras com uma carga de 100g por 30s. A análise estatística, para determinar as diferenças estatisticamente significantes entre as amostras, foi feita através da análise de variância (ANOVA) com um teste t de student com  $p \leq 0,05$ . Os aparelhos LED apresentaram um espectro de emissão entre 425 e 500nm com emissão máxima próxima a 455nm. O aparelho de luz halógena apresentou um espectro mais largo de emissão de 380 a 520nm, com pico em 479nm. A resina composta Ceram X contém apenas canforoquinona como fotoiniciador, e a Tetric EvoCeram contém canforoquinona e Lucirin TPO, que tem sua máxima absorção a 382nm. As amostras de Ceram X obtiveram maiores valores de dureza com os aparelhos de LED que as amostras de Tetric Evoceram. O oposto ocorreu para a fotoativação com luz halógena. O aumento da intensidade dos aparelhos de LED resultou em aumento da microdureza

em ambas as resinas compostas. Para a densidade de energia de 08J, a densidade de potência de 400mW/cm<sup>2</sup> foi a que forneceu maiores valores de microdureza na base das amostras, e para ambas as resinas compostas e ambos os aparelhos, a densidade de energia de 16J forneceu maior dureza que a de 08J.

Schattenberg et al. (2008) realizaram um estudo com o intuito de determinar o tempo de exposição mínimo para a polimerização de diferentes resinas compostas por aparelhos de LED, com ponteiros distantes 07mm da base das amostras, quando se utiliza a técnica incremental de inserção da resina composta. As amostras de cinco resinas compostas (Tetric EvoCeram A3, Filtek Supreme XT A3B, Premise A3, CeramX Mono M5, QuiXfil U) foram confeccionadas através da inserção e fotoativação de três incrementos de 02mm em uma matriz de aço com 05mm de diâmetro por 06mm de altura. Utilizaram sete aparelhos de LED (Bluephase, Bluephase C8, Bluephase 16i/Ivoclar Vivadent, L.E.Demetron II/sds Kerr, Elipar FreeLight 2/3M ESPE, Smartlite PS/DENTSPLY, Translux Power Blue/Heraeus) de alta potência (730 a 1307mW/cm<sup>2</sup>) para realizar a fotoativação. Ambas as superfícies das amostras foram cobertas com uma matriz de celofane para evitar a influência da camada inibida por oxigênio. Primeiramente foi utilizado o tempo de exposição recomendado pelo fabricante de cada aparelho fotopolimerizador, e 10min após foi realizada a medição da dureza universal com uma carga de 4,9N a uma velocidade de 01mm/min em três pontos da base das amostras. Esclarecem que a dureza universal é medida através da profundidade de penetração de um diamante semelhante ao da dureza Vickers sob uma carga determinada. Uma amostra de referência com 02mm de espessura foi confeccionada para cada combinação de resina composta e aparelho fotopolimerizador, e fotopolimerizada por 40s a partir do topo destas amostras. Quando o valor de dureza da base das amostras teste eram  $\geq 80\%$  do valor de dureza do topo da amostra de referência ficava definido como polimerização suficiente. Dos 35 casos testados, os tempos de exposição recomendados pelos fabricantes eram eficientes. Um grupo (Bluephase, LEDemetron II, Free Light2+) polimerizou bem as camadas com tempos de exposição de 11 a 12s por incremento enquanto o outro grupo (Smartlite PS, PowerBlue, and Bluephase C8) precisou de 17 a 18s. Não foi encontrada correlação entre a intensidade dos aparelhos e sua capacidade para fotopolimerizar as amostras. Todos os aparelhos de LED apresentaram potencial para fotoativar

adequadamente as resinas compostas, mas foi verificado que cada uma requeria um tempo de exposição diferente. O tempo de 20s foi suficiente para todas as resinas compostas quando fotoativadas em incrementos, e pode ser reduzido para 10s dependendo da resina composta e do aparelho utilizados.



### 3 PROPOSIÇÃO

Este estudo se propõe a:

- Avaliar se existe diferença no valor da dureza Knoop de uma resina composta quando esta é ativada por um aparelho de luz halógena e um de LED com densidades de energia padronizadas;
- Avaliar a evolução dos valores de dureza Knoop de acordo com o tempo que a resina composta é armazenada após a fotoativação;
- Verificar se os valores de dureza Knoop de amostras de resina composta são influenciados pela maneira que são realizadas as medições. Comparando os valores do topo e da base das amostras polimerizadas através de uma lamínula de vidro, com os valores do centro destas, cerca de 100  $\mu$ m distantes das superfícies do topo e da base;
- Comparar os valores de dureza Knoop obtidos na base das amostras com aqueles do topo e os valores obtidos a 100  $\mu$ m da base com aqueles de 100  $\mu$ m do topo;
- Verificar a influência dos fatores tipo de luz, tempo de armazenamento e local da medição, sobre a dureza relativa das amostras.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

---

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

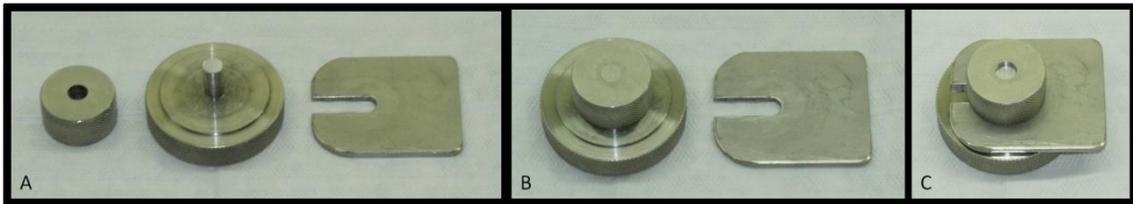
A parte experimental desta dissertação foi realizada no Laboratório de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da UNICAMP.

A resina composta Filtek Z250 (3M ESPE) na cor UD (Quadro 1) foi a escolhida para a confecção dos corpos-de-prova visto que esta é uma das cores mais opacas e conseqüentemente possui uma das menores profundidades de cura desta marca comercial (SHORTALL, 2005)

**Quadro 1** – Composição da resina composta Filtek Z250 (segundo informações do fabricante).

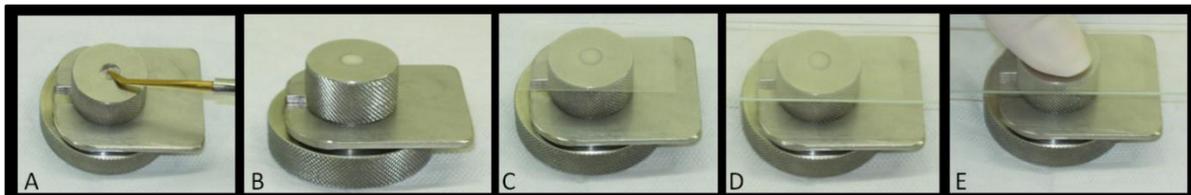
Resina	Composição		Lote	Fabricante
	Matriz Orgânica	Carga		
<b>Filtek Z250</b>	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA	zircônia/sílica 0,01-3,5µm 60% (vol.)	7AT	3M ESPE St. Paul, MN, USA

Os corpos-de-prova foram confeccionados em uma matriz de aço inox elaborada pelo laboratório de usinagem e manufatura do Colégio Técnico Universitário da UFJF. Tal matriz foi idealizada por nós juntamente com o professor Doutor Jalon de Moraes Vieira, sendo constituída de três partes: base com pino central de 6mm de diâmetro, anel com orifício central de 6mm de diâmetro e garfo com 2mm de espessura (Figura 1), que quando montadas, formavam na matriz uma cavidade na sua região central com 2mm de profundidade por 6mm de diâmetro.



**Figura 1** – Matriz em aço inox utilizada no estudo. (A) Partes constituintes da matriz: anel, base e garfo; (B) Ao encaixar o anel à base, forma-se uma superfície plana; (C) Ao montar o garfo com espessura de 2mm forma-se a cavidade central da matriz, onde são produzidos os corpos-de-prova.

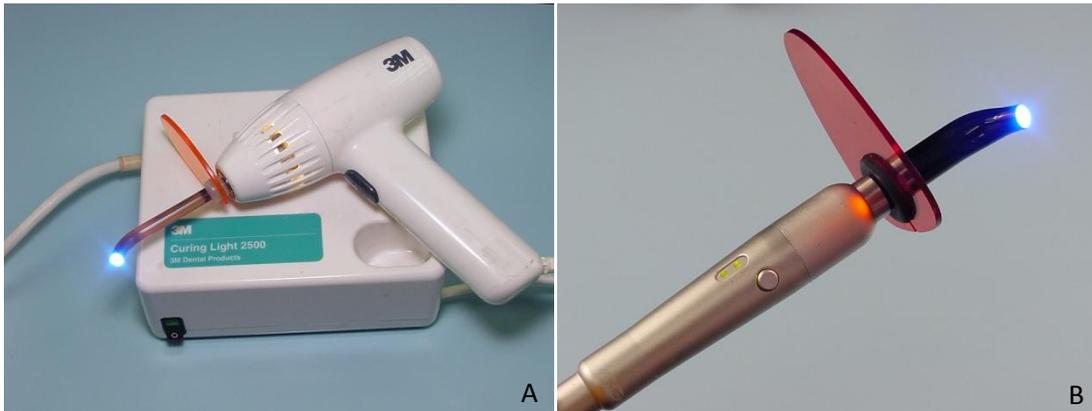
Para a produção das amostras a cavidade central da matriz foi preenchida com um único incremento da referida resina composta, sobre a matriz posicionava-se uma lamínula e sobre esta, uma lâmina de vidro. Uma pressão digital foi realizada sobre o conjunto para promover o confinamento e o extravasamento do excesso de material, evitar a inclusão de bolhas e obter lisura superficial do corpo-de-prova (Figura 2).



**Figura 2** – Confeção dos corpos-de-prova. (A) Inserção da resina composta; (B) Matriz preenchida com a resina composta; (C) Posicionamento da lamínula de vidro sobre a matriz; (D) Posicionamento da lâmina de vidro sobre a lamínula; (E) Aplicação de pressão digital.

Após a remoção da lâmina de vidro, a ponta ativa do aparelho fotopolimerizador foi posicionada diretamente sobre a lamínula que recobria o corpo-de-prova.

Dois aparelhos fotopolimerizadores foram utilizados para a ativação das amostras de resina composta, o aparelho XL 2500 (3M/ESPE) de luz halógena com intensidade de  $600\text{mW}/\text{cm}^2$  e o Ultrablue Is (D.M.C.) de LED com intensidade de  $500\text{mW}/\text{cm}^2$  (Figura 3).



**Figura 3** – Aparelhos fotopolimerizadores (A) XL 2500 - 3M/ESPE e (B) Ultrablue Is - D.M.C.

Para o aparelho de luz halógena utilizou-se o tempo de exposição de 30s recomendado pelo fabricante e, com o objetivo de igualar as densidades de energia (intensidade em  $W/cm^2$  x tempo em segundos) dos dois aparelhos em 18J, o aparelho de LED foi utilizado com o tempo de exposição de 36s, conforme descrito no quadro 2 abaixo.

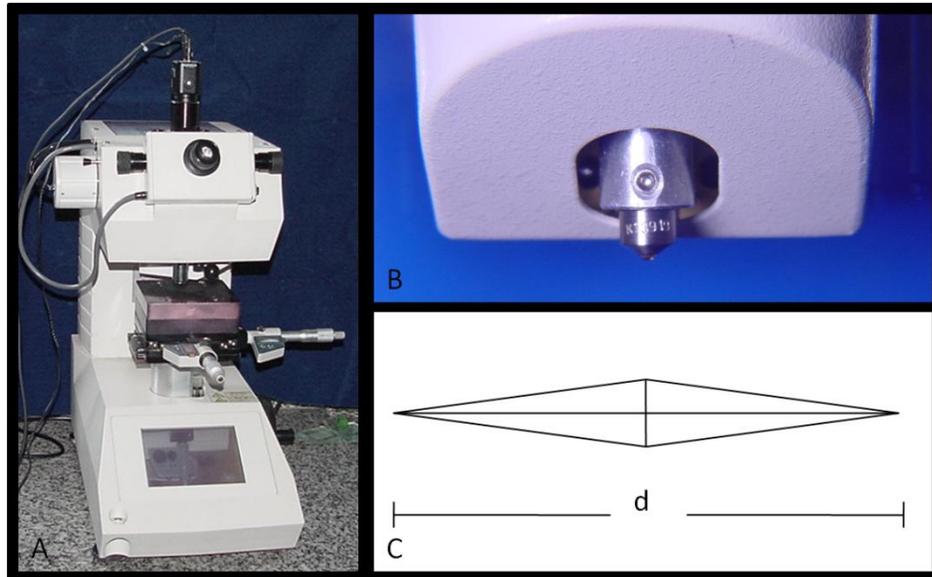
**Quadro 2** – Descrição dos aparelhos fotopolimerizadores utilizados na pesquisa

Aparelho	Tipo de Luz	Intensidade da luz emitida	Tempo de exposição	Densidade de energia	Fabricante
XL 2500	Halógena	$600mW/cm^2$	30s	18J	3M/ESPE Dental Products, Saint Paul, EUA
Ultrablue Is	LED	$500mW/cm^2$	36s	18J	D.M.C.Equipamentos Ltda, São Carlos, Brasil

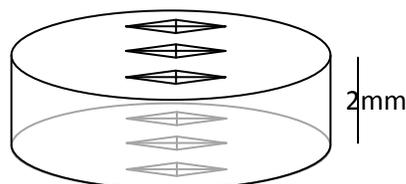
Foram produzidos 80 corpos-de-prova sendo 40 com cada aparelho fotopolimerizador e divididos em 4 grupos de 10 amostras: Grupo 1 – Medição da dureza Knoop 01 hora após a fotoativação; Grupo 2 – medição após 24 horas; Grupo 3 – medição após 07 dias e Grupo 4 – medição após 30 dias.

Após o procedimento de fotopolimerização, as amostras foram acondicionadas em recipientes à prova de luz contendo água deionizada, sendo armazenadas em estufa na temperatura de  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  pelos tempos estabelecidos para cada grupo.

Para comparar as leituras realizadas nas superfícies do topo e da base com aquelas obtidas no interior das amostras, cada um destes grupos foi subdividido em dois subgrupos (Quadro 3). No primeiro os testes de dureza Knoop foram realizados diretamente nas regiões de topo e base, sob uma carga de 500g durante 10s, com um microdurômetro modelo HMV Shimadzu Microhardness Tester (Shimadzu, Tóquio, Japão) (Figura 4), perfazendo um total de seis penetrações por amostra, sendo três na superfície de incidência da luz (topo) e três na região oposta à incidência da luz (base) (Figura 5).

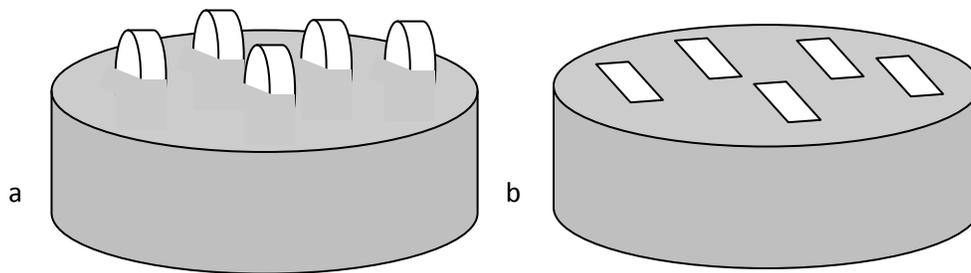


**Figura 4** – (A) Microdurômetro utilizado para a realização das medições; (B) Ponta de diamante do aparelho; (C) Desenho esquemático do formato da marca deixada pelo diamante piramidal na superfície da amostra, mostrando a diagonal maior (d) utilizada para o cálculo da dureza Knoop.

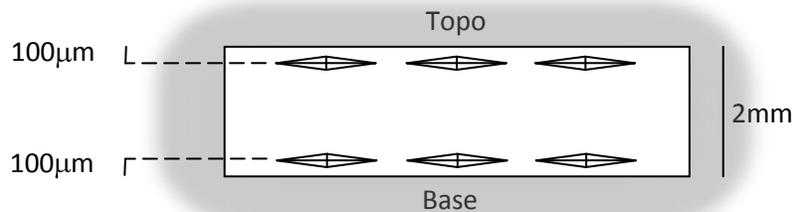


**Figura 5** – Desenho esquemático das medições de dureza realizadas no topo e na base das amostras.

No segundo subgrupo as amostras foram posicionadas verticalmente em um suporte, incluídas neste até a metade (Figura 6a), desgastadas e polidas seqüencialmente, sob abundante refrigeração à água, em uma lixadeira e polidora universal modelo APL-4, com lixas d'água de Carbetto de Silício (Carborundum) seqüencialmente da granulação mais grossa para a mais fina, ou seja, de 320, 400, 600 e 1200 (Figura 6b). Nestas amostras a mensuração da dureza Knoop foi realizada com a mesma carga de 500g por 10s através de três medições realizadas 100 $\mu$ m distantes de cada uma das superfícies, totalizando três medições por amostra (Figura 7).



**Figura 6** – Desenho esquemático das amostras fixadas verticalmente no suporte para serem desgastadas e polidas (a) e após o procedimento de desgaste (b).



**Figura 7** – Desenho esquemático das medições de dureza Knoop realizadas distantes 100 $\mu$ m do topo e da base das amostras.

**Quadro 3** – Divisão dos grupos de acordo com o tipo de aparelho fotopolimerizador, os tempos de armazenamento e os locais de leitura.

Tipo de aparelho fotopolimerizador	Tempo de armazenamento	Local de leitura	Número de amostras
LED	01h	Topo e base	n = 5
		100µm do topo e 100µm da base	n = 5
	24h	Topo e base	n = 5
		100µm do topo e 100µm da base	n = 5
	07 dias	Topo e base	n = 5
		100µm do topo e 100µm da base	n = 5
30 dias	Topo e base	n = 5	
	100µm do topo e 100µm da base	n = 5	
QTH	01h	Topo e base	n = 5
		100µm do topo e 100µm da base	n = 5
	24h	Topo e base	n = 5
		100µm do topo e 100µm da base	n = 5
	07 dias	Topo e base	n = 5
		100µm do topo e 100µm da base	n = 5
30 dias	Topo e base	n = 5	
	100µm do topo e 100µm da base	n = 5	

Foi realizado ainda o cálculo da dureza relativa das amostras de cada grupo através da divisão da média da dureza na base sobre a média de dureza no topo. Esta medida deve ser superior a 80% para comprovar que toda a espessura de resina composta foi adequadamente polimerizada.

Os resultados obtidos foram comparados entre si quanto às alterações relativas ao tipo de aparelho utilizado, tempo de armazenagem e local de medição da dureza Knoop. Estas comparações foram realizadas utilizando-se o teste estatístico ANOVA seguido do Post-Hoc teste de Tukey. E adotado o nível de significância de 0,05 ( $p \leq 0,05$ ).

## 5 RESULTADOS

---

## 5 RESULTADOS

Quando se observou a os valores de Dureza Knoop obtidos no topo das amostras, para o LED, os valores foram menores em 01h e não diferiram estatisticamente nos outros tempos. Já para a luz halógena os valores em 01h não diferiram de 07 dias e de 30 dias mas foram inferiores que os observados em 24h.

Nos valores obtidos 100 $\mu$ m abaixo do topo das amostras, para o LED, a dureza aumentou de 01h para 24h e desta para 07 dias, e em 30 dias não diferiu estatisticamente de 07 dias. Enquanto para luz halógena houve aumento de dureza de 01h para 24h e a partir de então não houve alteração.

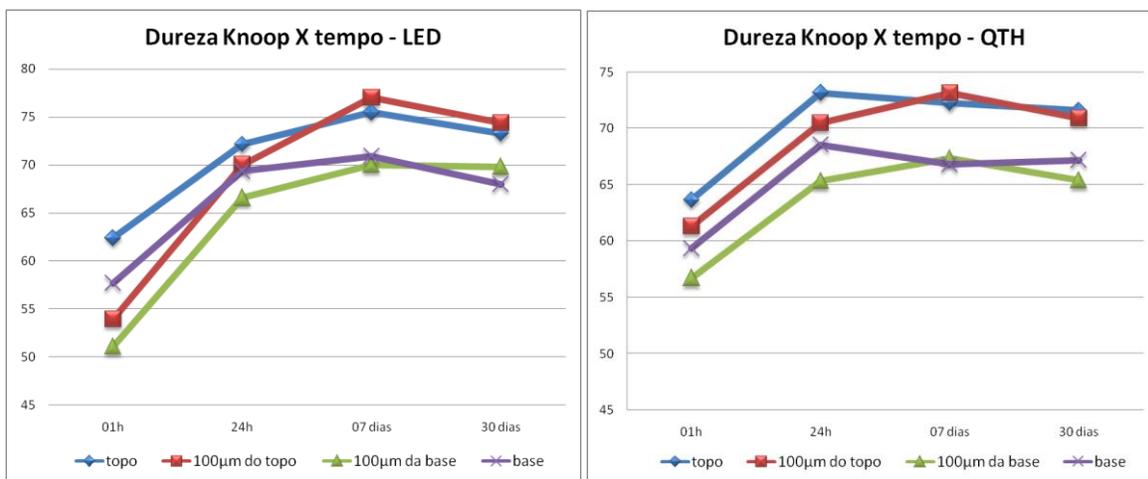
Nas medições realizadas 100 $\mu$ m acima da base, para o LED a dureza aumentou de 01h para 24h e desta para 07 dias, e em 30 dias não diferiu estatisticamente de 07 dias. Para a luz halógena a dureza não diferiu entre 01h, 24h, e 30 dias nem entre 24h, 07 dias e 30 dias, sendo que a dureza foi menor em 01h do que em 07 dias.

Já na base das amostras, para ambos os aparelhos fotopolimerizadores, os valores de dureza foram menores em 01h e não diferiram estatisticamente nos outros tempos (Tabela 1 e fig. 8).

**Tabela 1** - Comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas em cada tempo de armazenamento para ambos os aparelhos e locais de leitura.

	LED				QTH			
	01h	24h	07 dias	30 dias	01h	24h	07 dias	30 dias
<b>topo</b>	62,41 a	72,15 b	75,47 b	73,29 b	63,66 ab	73,17 c	72,27 bc	71,59 bc
<b>100<math>\mu</math>m do topo</b>	53,91 a	70,00 b	77,00 c	74,36 c	61,32 a	70,51 b	73,17 b	70,93 b
<b>100<math>\mu</math>m da base</b>	51,07 a	66,59 b	70,03 c	69,82 c	56,73 ab	65,35 abc	67,33 c	65,41 bc
<b>base</b>	57,69 a	69,35 b	70,92 b	67,98 b	59,35 a	68,54 b	66,80 b	67,18 b

Letras iguais na horizontal significam ausência de diferenças estatisticamente significantes entre os valores obtidos nos diferentes tempos de armazenagem, para cada local de leitura e aparelho analisados, segundo o teste estatístico ANOVA e Post Hoc teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



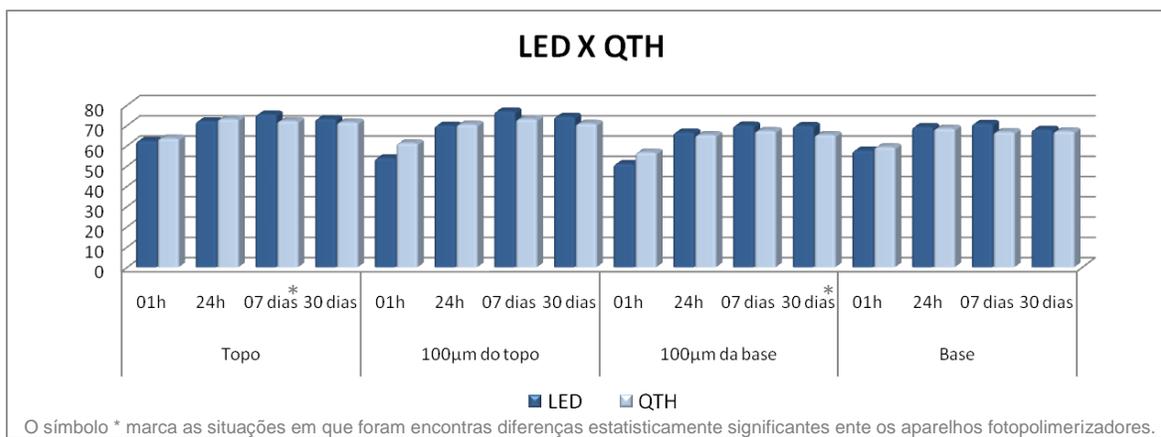
**Figura 8** – Gráficos representativos da evolução dos valores de dureza Knoop com o tempo para as quatro regiões em que foram realizadas as medições e para os aparelhos de LED e de QTH

Os valores de dureza não foram influenciados pelo tipo de lâmpada fotoativadora, exceto para as medições realizadas no topo das amostras medidas em 07 dias e a 100µm acima da base medidas em 30 dias, situações em que o aparelho de LED forneceu maiores valores de dureza que a luz halógena (Tabela 2 e fig 9).

**Tabela 2** - Comparação entre as médias de dureza Knoop das amostras fotoativadas pelos aparelhos de LED e de QTH nos diversos locais de medida e tempos de armazenamento.

	Topo		100µm do topo		100µm da base		Base	
	LED	QTH	LED	QTH	LED	QTH	LED	QTH
<b>01h</b>	62,41 a	63,66 a	53,91 a	61,32 a	51,07 a	56,73 a	57,69 a	59,35 a
<b>24h</b>	72,15 a	73,17 a	70,00 a	70,51 a	66,59 a	65,35 a	69,35 a	68,54 a
<b>07 dias</b>	75,47 b	72,27 a	77,00 a	73,17 a	70,03 a	67,33 a	70,92 a	66,80 a
<b>30 dias</b>	73,29 a	71,59 a	74,36 a	70,93 a	69,82 b	65,41 a	67,98 a	67,18 a

Letras iguais na horizontal significam ausência de diferenças estatisticamente significantes entre LED e QTH, para cada tempo e local analisados, segundo o teste estatístico ANOVA e Post Hoc teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



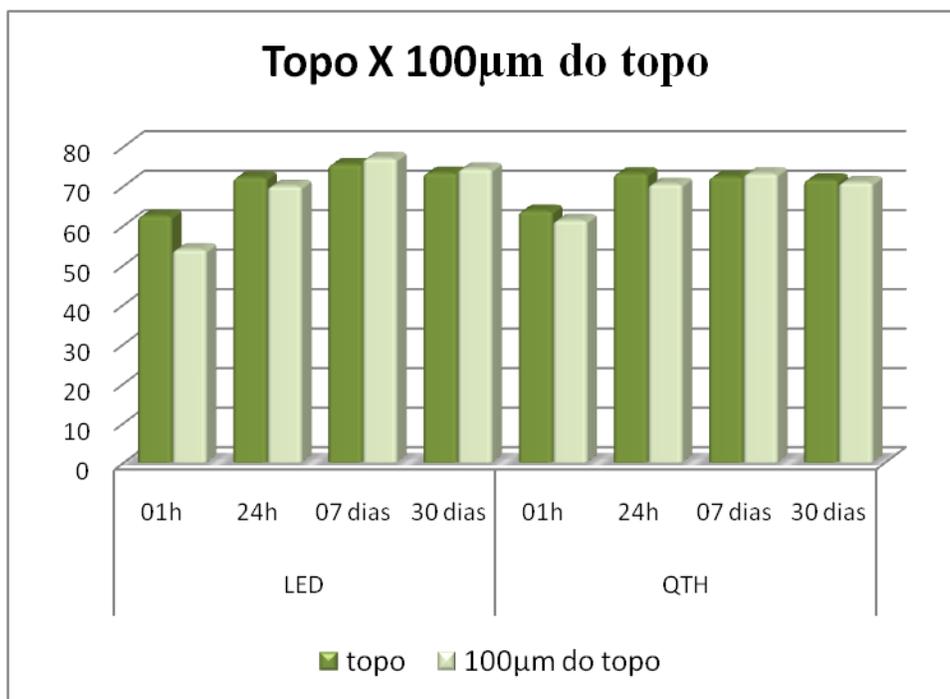
**Figura 9** – Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas com os aparelhos de LED e de QTH nos diversos locais e tempos de armazenagem.

Os valores de dureza Knoop não apresentaram variações em virtude da metodologia utilizada, visto que não houve diferenças estatisticamente significativas entre as leituras realizadas diretamente nas superfícies do topo e da base das amostras e as leituras realizadas no interior das amostras 100µm distantes das superfícies do topo e da base (Tabela 3 e fig. 10 e 11).

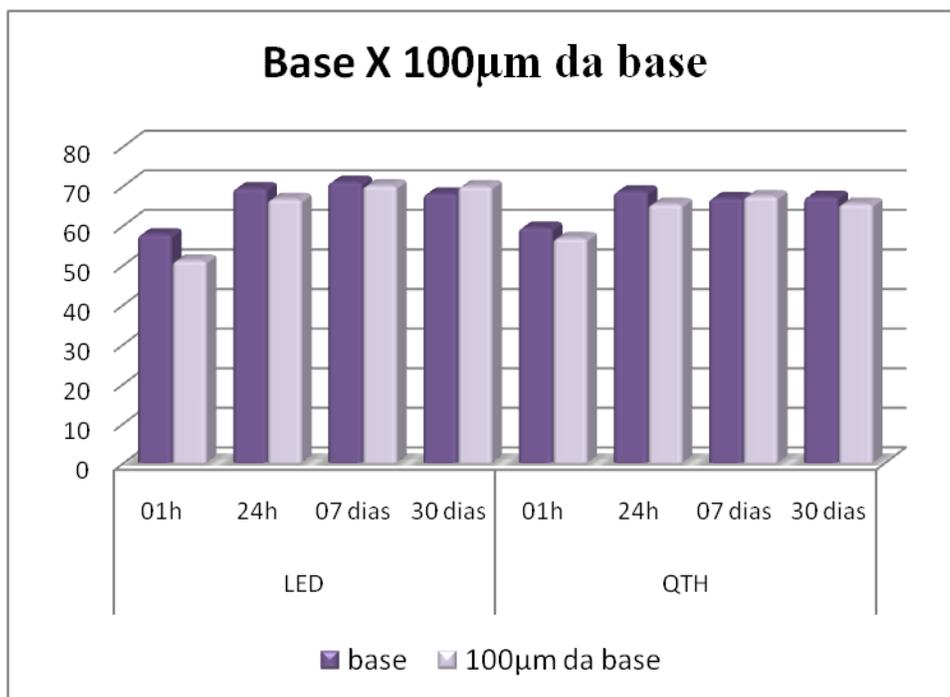
**Tabela 3** - Comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas em cada superfície e distantes 100µm dela, para ambos os aparelhos e tempos de armazenamento.

	LED				QTH			
	topo	100µm do topo	base	100µm da base	topo	100µm do topo	base	100µm da base
<b>01h</b>	62,41 a	53,91 a	57,69 a	51,07 a	63,66 a	61,32 a	59,35 a	56,73 a
<b>24h</b>	72,15 a	70,00 a	69,35 a	66,59 a	73,17 a	70,51 a	68,54 a	65,35 a
<b>07 dias</b>	75,47 a	77,00 a	70,92 a	70,03 a	72,27 a	73,17 a	66,80 a	67,33 a
<b>30 dias</b>	73,29 a	74,36 a	67,98 a	69,82 a	71,59 a	70,93 a	67,18 a	65,41 a

Letras iguais na horizontal significam ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores obtidos na superfície a 100µm distante desta, para cada tempo e aparelho analisados, segundo o teste estatístico ANOVA e Post Hoc teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



**Figura 10** – Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas no topo e a 100 $\mu$ m deste nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.



**Figura 11** – Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas na base e a 100 $\mu$ m desta nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.

Nas amostras fotoativadas com o aparelho de LED, houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de dureza obtidos no topo e na base quando as leituras foram realizadas após 7 e 30 dias de armazenagem e entre 100µm do topo e 100µm da base quando as leituras foram realizadas após 30 dias de armazenagem. Já nas amostras fotoativadas com o aparelho de QTH, houve diferença estatisticamente significativa nos valores de dureza obtidos entre o topo e a base e entre 100µm do topo e 100µm da base quando as leituras foram realizadas após 07 dias de armazenagem (Tabelas 4 e 5 e fig. 12 e 13).

**Tabela 4** - Comparação entre as médias de dureza Knoop do topo e da base e entre as médias de 100µm do topo e 100µm da base e dureza relativa das amostras para o aparelho de LED.

LED						
	topo	base	Dureza relativa	100µm do topo	100µm da base	Dureza Relativa
<b>01h</b>	62,41 a	57,69 a	0,92	53,91 a	51,07 a	0,95
<b>24h</b>	72,15 a	69,35 a	0,96	70,00 a	66,59 a	0,95
<b>07 dias</b>	75,47 b	70,92 a	0,94	77,00 a	70,03 a	0,91
<b>30 dias</b>	73,29 b	67,98 a	0,93	74,36 b	69,82 a	0,94

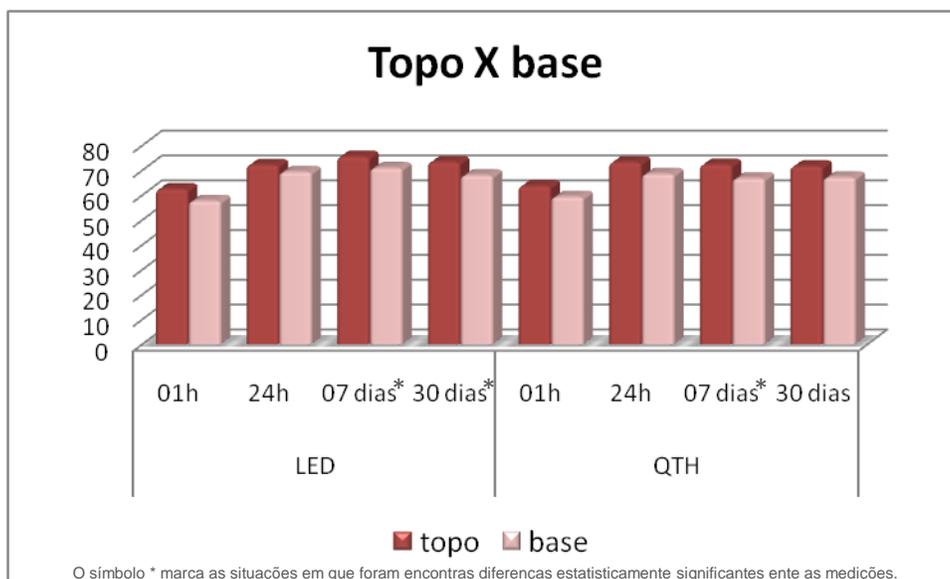
Letras iguais na horizontal significam ausência de diferenças estatisticamente significantes entre os grupos segundo o teste estatístico ANOVA e Post Hoc teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 5** - Comparação entre as médias de dureza Knoop do topo e da base e entre as médias de 100µm do topo e 100µm da base e dureza relativa das amostras para o aparelho de QTH.

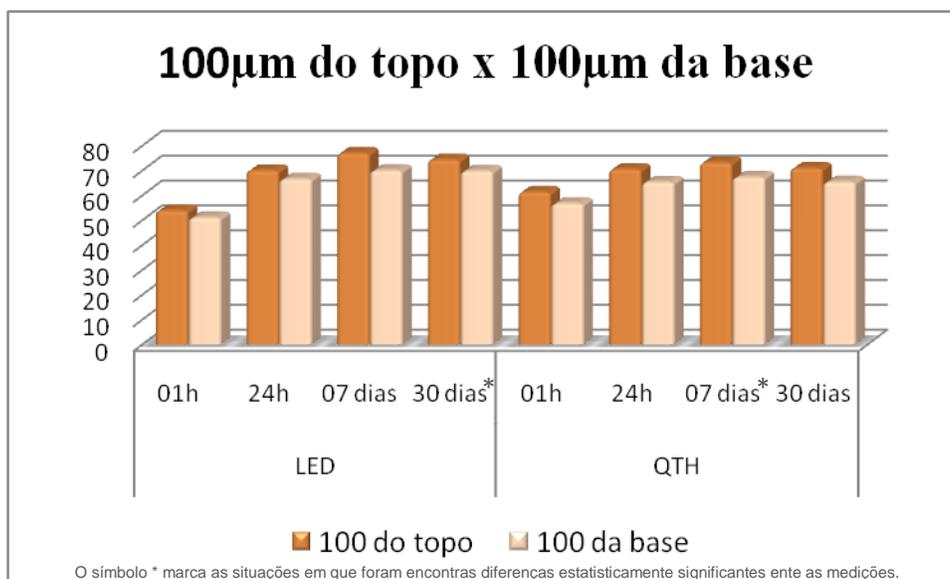
QTH						
	topo	base	Dureza relativa	100µm do topo	100µm da base	Dureza Relativa
<b>01h</b>	63,66 a	59,35 a	0,93	61,32 a	56,73 a	0,92
<b>24h</b>	73,17 a	68,54 a	0,94	70,51 a	65,35 a	0,92
<b>07 dias</b>	72,27 b	66,80 a	0,92	73,17 b	67,33 a	0,92
<b>30 dias</b>	71,59 a	67,18 a	0,94	70,93 a	65,41 a	0,92

Letras iguais na horizontal significam ausência de diferenças estatisticamente significantes entre os grupos segundo o teste estatístico ANOVA e Post Hoc teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Não houve diferenças estatisticamente significantes quanto a dureza relativa das amostras independente da variável avaliada: tempo, lâmpada ou local de leitura. E em todas as condições esta dureza foi superior a 80% (Tabelas 4 e 5).



**Figura 12** – Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas no topo e na base nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.



**Figura 13** – Gráfico representativo da comparação entre as médias de dureza Knoop obtidas e a 100µm do topo e 100µm da base nos diversos tempos de armazenagem e com ambos os aparelhos fotopolimerizadores.

## 6 DISCUSSÃO

---

## 6 DISCUSSÃO

A polimerização das resinas compostas pode sofrer influência de diversos fatores como: intensidade do aparelho fotopolimerizador, espessura da camada de material restaurador, quantidade, tipo e tamanho das partículas de carga, cor, desenho da cavidade, distância da ponteira do aparelho fotoativador até o material restaurador, tempo de fotoativação e condições de manutenção do aparelho fotopolimerizador (TATE, PORTER E DOSCH,1999). Os fatores capazes de influenciar a polimerização das resinas compostas aqui considerados foram o tipo de luz ativadora e o tempo transcorrido após a fotoativação, e a resina composta escolhida para a confecção dos corpos-de-prova com 02mm de espessura foi a Filtek Z250 cor UD.

O fabricante desta resina composta recomenda que a polimerização deve ser feita em incrementos de 2,0mm por 30s para as cores B0,5, C4 e UD, e de 2,5mm por 20s para as demais cores. Nos estudos de Shortall (2005) as cores que tiveram menor profundidade de cura foram B0,5, B1 e UD, que eram as cores mais opacas levando a acreditar que a translucidez de uma resina composta é mais importante que a cor para predizer a sua profundidade de cura. Já Aguiar et al. (2005) testaram a microdureza Knoop em apenas três cores desta mesma resina composta e encontraram que a cor A1 teve dureza significativamente maior que a cor C2, e a cor A3,5 apresentou resultados intermediários, não diferindo significativamente das outras duas cores na base de amostras de 02mm de espessura. Desta forma a cor escolhida foi a UD, pois nas situações em que houve uma adequada polimerização da resina composta, pressupõe-se que todas as outras cores também seriam polimerizadas adequadamente pelos mesmos aparelhos e tempos utilizados.

A composição do material tem uma grande influência na sua dureza (QUANCE et al. 2001). Já foram encontradas diferenças entre Z100, Dyract e Definite (CEFALY et al., 2005), Z100 e Esthet-X ( RAMP, BROOME e RAMP, 2006) e Z100 e Dyract (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995). O que pode ser explicado pela variedade na composição da carga inorgânica (TATE, PORTER E DOSCH,1999), pela presença de co-iniciadores além da canforoquinona (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995) e pela

natureza das moléculas de monômero presentes na sua composição (ASMUSEN, 1982).

A dureza da resina composta de micropartículas é inferior à da híbrida independente do tipo de lâmpada utilizada (LEONARD et al., 2001; DUNN e BUSH, 2002; PERIS et al., 2005). Esta diferença pode ser devido à capacidade das pequenas partículas das resinas compostas microparticuladas causarem reflexão da luz polimerizadora (LEONARD et al., 2001).

Desta forma, escolheu-se apenas uma resina composta, a Filtek Z250 que, de acordo seu perfil técnico possui carga inorgânica formada por zircônia/silica. A quantidade de partículas inorgânicas é de 60% em volume, com tamanhos entre 0,01 e 3,5µm. A Filtek Z250 contém os monômeros resinosos Bis-GMA, UDMA e Bis-EMA.

No que tange a medição da profundidade de polimerização das resinas compostas fotopolimerizáveis, a Organização Internacional para Padronização publicou no ano 2000 a ISO 4049:2000, que normatiza a qualidade das resinas compostas de uso odontológico, sugere um teste para determinar a profundidade de cura destes materiais, que deve ser de no mínimo 01mm (no caso de cores ditas opacas pelo fabricante) e 1,5mm para os outros materiais de preenchimento e restauração. Fan et al. (2002) utilizaram este teste proposto pela ISO e verificaram que a intensidade de 300mW/cm<sup>2</sup> polimeriza a maioria das cores de resinas compostas com o tempo recomendado pelo fabricante, mas em alguns casos é necessário um maior tempo de exposição. Mesmo em 1984, quando Watts, Amer e Combe utilizavam aparelhos com intensidades da ordem de 55 a 110mW/cm<sup>2</sup>, muito inferiores às dos aparelhos atuais, já verificavam que uma menor intensidade pode realizar uma cura satisfatória, desde que o tempo de exposição utilizado seja suficiente, e sugeriram o uso de incrementos de no máximo 1,5mm e tempos de irradiação prolongados para as resinas compostas de cores mais escuras. Para fotoativar uma amostra de resina composta de 1,5mm de espessura com um aparelho de LED cuja intensidade é de 259mW/cm<sup>2</sup>, Keogh et al. (2004) afirmaram ser necessário um tempo de exposição mínimo de 40s. Entretanto, Rueggeberg, Caughman e Curtis (1994) recomendaram uma exposição de 60s e incrementos menores que 02mm para promover uma cura uniforme e compensar possíveis diminuições na intensidade de luz, mas que a espessura de 01mm é a ideal

para polimerizar cada incremento, e que uma intensidade de luz mínima de  $400\text{mW/cm}^2$  é suficiente para a polimerização das resinas compostas. Já Shortall e Harrington (1996) expuseram que o aparelho fotopolimerizador ideal deve ter intensidade estável maior que  $300\text{mW/cm}^2$  dentro dos comprimentos de onda efetivos para a polimerização das resinas compostas, suas ponteiros devem ser autoclaváveis, a unidade não deve superaquecer com o uso prolongado e o sistema de refrigeração deve ser silencioso, o aparelho deve ser leve, ter tempos de cura estabelecidos, sinais sonoros audíveis e poder ser desligado imediatamente caso necessário.

Existem controvérsias a respeito da capacidade da medição de dureza em prever o grau de conversão das resinas compostas. As propriedades elásticas e plásticas dos polímeros dependem do comprimento da cadeia, do grau de conversão e da cristalinidade do material. Cadeias curtas são associadas a um baixo módulo de elasticidade e a uma baixa dureza. Maiores valores de dureza são observados em moléculas com um grande número de ligações cruzadas (TABOR, 1970). Obici et al. (2005) recomendaram que deve-se ter cuidado ao considerar a dureza como indicativo de grau de conversão pois amostras com grau de conversão semelhantes podem ter dureza Knoop diferentes. Mas Rueggeberg e Craig (1988) explicam que esta diferença é devido ao fato do teste de dureza Knoop ser mais sensível que o grau de conversão quando está presente um grande número de ligações cruzadas, sendo capaz de detectar alterações muito pequenas. Entretanto Asmussen (1982) observou que a dureza Wallace não varia concomitantemente com a quantidade de duplas ligações livres após a conversão, indicando que as propriedades mecânicas das resinas compostas não são dependentes apenas do grau de conversão, mas principalmente da natureza das moléculas de monômero presentes na sua composição. Já foram encontradas correlações entre o grau de conversão e as durezas Vickers (OREFICE et al., 2003), Knoop (RUEGGERBERG e CRAIG, 1988) e Barcol (ARAVAMUDHAN et al., 2006). Este trabalho foi realizado com base nos que utilizaram as medições de microdureza como preditoras do grau de conversão das resinas compostas (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995; LEONARD et al., 2001; QUANCE et al., 2001; DUNN e BUSH, 2002; OBICI et al., 2004; CEFALY et al., 2005; OBICI et al., 2005; PERIS et al., 2005; FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006; GRITSCH et al., 2008)

Os aparelhos mais comumente utilizados para a fotoativação das resinas compostas são os de luz halógena e os de LED. Quando avaliados os aparelhos em uso nos consultórios odontológicos, a prevalência de luzes com baixa intensidade foi mais alta entre os aparelhos de luz halógena. Dos aparelhos avaliados, 77% tinham resíduos aderidos à ponteira capazes de diminuir a intensidade da luz transmitida. Cerca de 10% dos aparelhos apresentavam intensidades menores que  $250\text{mW}/\text{cm}^2$  e aproximadamente 65% maiores que  $500\text{mW}/\text{cm}^2$  (BARGHI, FISCHER e PHAM, 2007).

Os aparelhos de luz halógena emitem luz branca que é filtrada com o objetivo de permitir a passagem dos comprimentos de onda correspondentes à luz azul, enquanto os aparelhos de LED não necessitam de filtro por já emitirem luz azul (BURGESS et al., 2002; HAMMESFAHR, O'CONNOR e WANG, 2002). No entanto a faixa de emissão dos aparelhos de luz halógena é bem mais ampla que a dos aparelhos de LED (SHORTALL, 2005; FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006; OWENS e RODRIGUEZ, 2007) Segundo Gritsch et al., (2008) a faixa de emissão de luz do LED vai de 425 a 500nm enquanto o do QTH varia de 380 a 520nm. Os aparelhos de QTH e de LED apresentam picos de emissão de luz distintos, de 470 a 500nm para o LED e 520nm para QTH segundo Owens e Rodriguez, (2007), de 455nm para o LED e 486nm para QTH segundo Felix, Price e Andreou (2006) e de 454 a 457nm para o LED e 479nm para QTH segundo Gritsch et al., (2008) e por este motivo os aparelhos de LED são mais específicos para resinas compostas que têm como único fotoiniciador a Canforoquinona devido ao fato de ambos apresentarem picos de emissão e absorção em torno de 470nm (TARLE, 2002; SHORTALL, 2005), sendo menos eficientes quando estão presentes outros iniciadores como o Lucirin TPO que tem sua máxima absorção a 382nm (GRITSCH et al., 2008), o BAPO que têm seu pico de absorção a 380nm e o PPD a 410nm (CEFALY et al., 2005).

A intensidade de luz dos aparelhos de QTH decai com o tempo, isso ocorre pelo fato do bulbo se tornar opaco devido ao seu constante aquecimento e resfriamento, enquanto os aparelhos de LED mantém sua intensidade constante ao longo do tempo (BURGESS et al., 2002; HAMMESFAHR, O'CONNOR e WANG, 2002). Os aparelhos de LED podem operar à bateria em razão do seu baixo consumo de energia (BURGESS et al., 2002; HAMMESFAHR, O'CONNOR e WANG, 2002) sem

apresentar uma drástica redução na intensidade de luz mesmo após 1500s com a mesma carga (OWENS E RODRIGUEZ, 2007). Além disso, Hammesfahr, O'Connor e Wang (2002) afirmaram que os aparelhos de LED têm uma vida útil esperada de milhares de horas de funcionamento, enquanto a durabilidade das lâmpadas de QTH é de menos de 100 horas.

Para uma mesma resina composta e um mesmo tempo de exposição, a variação da intensidade dos aparelhos fotopolimerizadores influi diretamente na dureza das resinas compostas (CEFALY et al., 2005; PERIS et al., 2005) e da profundidade de cura, independente do tipo de lâmpada utilizada (SHORTALL, 2005). Da mesma forma se forem mantidas as mesmas condições de intensidade de luz e tipo de resina composta, quanto maior o tempo de fotoativação maior será a dureza das resinas compostas principalmente na base das amostras (LEUNG, FAN e JOHNSTON, 1983; KEOGH et al., 2004; CEFALY et al., 2005) visto que desta forma a densidade de energia torna-se maior (CEFALY et al., 2005).

Quando Cefaly et al. (2005) compararam a dureza Vickers de resinas compostas fotopolimerizadas por um aparelho de luz halógena com intensidade de  $760\text{mW/cm}^2$  com um de LED de  $130\text{mW/cm}^2$ , encontraram valores inferiores para o LED na base das amostras, o que é facilmente explicado pela grande diferença de intensidades de luz dos dois aparelhos. O que também corresponde parcialmente aos achados de Peris et al. (2005) no que diz respeito à resina composta de micropartículas (Durafil VS - Heraeus Kulzer), fotoativada por 40s com um aparelho de LED (Elipar FreeLight 1 – 3M-ESPE -  $282\text{mW/cm}^2$ ) que obteve valores de dureza Knoop menores que os de um aparelho de luz halógena (Optilux 501, Kerr –  $866\text{mW/cm}^2$ ), visto que esta resina composta necessita de uma maior densidade de energia para fotoativação. Já com uma resina composta híbrida (Filtek Z250 – 3M ESPE) os resultados para ambas as fontes foram semelhantes.

Durante a medida da profundidade de cura com um penetrometro digital, um LED com intensidade de  $1037\text{mW/cm}^2$  obteve melhores resultados que um aparelho de QTH com  $716\text{mW/cm}^2$  e este melhores que outro LED com  $346\text{mW/cm}^2$ , entretanto ao se utilizar metade do tempo de ativação para o LED de maior intensidade, obteve-se resultados semelhantes ao LED de menor intensidade (SHORTALL, 2005)

A dureza de uma resina composta não foi alterada quando da utilização de um aparelho de QTH com  $500\text{mW/cm}^2$  e um de LED com  $300\text{mW/cm}^2$ , mas foi superior àquela obtida com um aparelho de LED com  $160\text{mW/cm}^2$  (REIS et al., 2003). Dunn e Bush (2002) observaram os mesmos resultados, porém com aparelhos de QTH com 900 e  $1300\text{mW/cm}^2$  e um LED com  $150\text{mW/cm}^2$ . Obici et al. (2004, 2005) também apresentaram resultados semelhantes em uma profundidade de cura de até 2mm.

Aparelhos de LED com mais de  $1000\text{mW/cm}^2$  de potência obtiveram resultados de dureza semelhantes ou até superiores aos aparelhos de luz halógena, ao fotoativar incrementos de até 3,5mm de espessura, com a ponteira distante da amostra até 02mm (FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006).

Os dois tipos de aparelhos fotopolimerizadores podem ser utilizados, podendo ser necessário um maior tempo de exposição ou incrementos menores no caso de aparelhos de LED como o Hilux LED MAX com intensidade de  $120\text{mW/cm}^2$  (ARAVAMUDHAN et al. 2006). Entretanto não são percebidas diferenças nos valores de dureza quando se utiliza densidades de energia padronizadas para os aparelhos de LED e de QTH (RAMP, BROOME e RAMP, 2006). Objetivando uma padronização das densidades de energia, neste estudo utilizou-se 18J para ambos os aparelhos fotopolimerizadores.

Nos trabalhos de Dunn e Bush (2002), Reis et al. (2003), Obici et al. (2004), Cefaly et al. (2005), Obici et al. (2005), Peris et al. (2005) e Shortall (2005) foram utilizados aparelhos de LED e de QTH de intensidades diferentes sem realizar uma padronização das suas densidades de energia, e deste modo não é possível comparar a capacidade de polimerização intrínseca de cada aparelho.

A intensidade do aparelho fotopolimerizador tem grande influência sobre a dureza das resinas compostas (QUANCE et al., 2001), no entanto o uso de luzes de alta intensidade pode reduzir a qualidade do selamento marginal destas restaurações (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995).

O valor normalmente aceito de  $300\text{mW/cm}^2$  foi efetivo na polimerização de uma resina composta híbrida, mas insuficiente para polimerizar uma resina microparticulada (LEONARD et al., 2001). O aumento da intensidade de dois aparelhos de LED de  $400\text{mW/cm}^2$  para  $1000\text{mW/cm}^2$  resultou em aumento da microdureza das

resinas compostas. Para a densidade de energia de 08J, a densidade de potência de  $400\text{mW}/\text{cm}^2$  foi a que forneceu maiores valores de microdureza na base das amostras e para ambas as resinas compostas e ambos os aparelhos, a densidade de energia de 16J forneceu maior dureza que a de 08J. (GRITSCH et al., 2008).

Na dureza interna das resinas compostas testadas não houve diferença estatisticamente significativa até uma profundidade de 4,5mm, entre um aparelho fotopolimerizador com  $450\text{mW}/\text{cm}^2$  e um com  $250\text{mW}/\text{cm}^2$  (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995).

Os radiômetros portáteis são ferramentas de baixo custo que permitem o monitoramento dos aparelhos fotopolimerizadores, contudo existem diferenças entre as medições de intensidade obtidas (OWENS e RODRIGUEZ, 2007). Rueggeberg (1993) concorda e acrescenta que estes aparelhos são capazes de identificar decréscimos da intensidade de luz. É necessário monitorar o desempenho dos aparelhos fotopolimerizadores com radiômetros e testes simples de profundidade de cura e dureza superficial, a fim de perceber qualquer alteração em sua intensidade de luz (TATE, PORTER e DOSCH, 1999; SHORTALL e HARRINGTON, 1996) e qualquer decréscimo nela observado deve ser investigado (SHORTALL e HARRINGTON 1996).

Neste experimento o aparelho de luz halógena utilizado possuía intensidade de  $600\text{mW}/\text{cm}^2$  e foi utilizado pelo tempo de 30s determinado pelo fabricante. A fim de igualar as densidades de energia, o aparelho de LED, cuja intensidade era de  $500\text{mW}/\text{cm}^2$  foi utilizado por 36s. Embora tenham sido encontrados valores de dureza maiores para o LED que para a luz halógena no topo das amostras armazenadas por 07 dias e a  $100\mu\text{m}$  da base das amostras armazenadas por 30 dias, não houve diferenças estatisticamente significantes em nenhuma das demais combinações de superfícies e tempos de armazenagem (topo por 01h, 24h e 30 dias;  $100\mu\text{m}$  abaixo do topo por 01h, 24h, 07 dias e 30 dias;  $100\mu\text{m}$  acima da base por 01h, 24h, 07 dias e na base por 01h, 24h, 07 dias e 30 dias) o que nos permite considerar que a padronização das densidades de energia proporcionou uma polimerização similar pelos aparelhos testados.

O aumento da distância entre a ponteira luminosa e as amostras de 02 e 04mm para 08mm resultou em uma diminuição da dureza da resina composta na base

das amostras (AGUIAR et al., 2005). E quando se modificou a distância da ponteira luminosa de zero e 02mm para 09mm a intensidade dos aparelhos fotopolimerizadores sofreu uma grande redução (FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006). O que nos levou a optar pela polimerização com a ponteira posicionada diretamente sobre a lamínula que recobria o espécime. Esta redução é ainda mais notável quando se utilizam as chamadas ponteiras turbo, que promovem um grande decréscimo de intensidade se não estiverem em contato direto com o substrato a ser polimerizado (BURGESS et al., 2002).

Em todos os grupos estudados a dureza relativa, que é o resultado da divisão da dureza da base pela dureza do topo, foi maior que 90% e não houveram diferenças estatisticamente significantes em decorrência do tipo de luz, do tempo de armazenamento e se a relação foi realizada entre o topo e a base ou entre 100 $\mu$ m do topo e 100 $\mu$ m da base. A dureza relativa não variou com tempo de armazenamento, o que está em concordância com Coffey et al. (2004) e Keogh et al. (2004). Porém depende do tempo de exposição (KEOGH et al., 2004). Para Aravamudhan et al. (2006) a dureza relativa é dependente do tipo de aparelho fotoativador, o que contraria estes resultados provavelmente pela falta de padronização das densidades de energia dos aparelhos em seus estudos.

É importante ressaltar que a relação de dureza entre a base e o topo pode ser mal-interpretada, visto que, um espécime que não obteve uma alta dureza no topo e obteve uma dureza semelhante na base, pode apresentar uma boa relação entre o topo e a base superando os 80% desejados (DUNN e BUSH, 2002).

Maiores valores de dureza foram encontrados no topo em relação à base das amostras utilizando um aparelho com intensidade de 550mW/cm<sup>2</sup> por 20s (AGUIAR et al., 2005), um aparelho de LED com intensidade de 259mW/cm<sup>2</sup> por 40s (KEOGH et al. (2004) e um aparelho fotopolimerizador de luz halógena com intensidade de 600mW/cm<sup>2</sup> por 05, 10, 15, 20, 30, 40 e 60s (COFFEY et al. (2004).

Os valores de dureza máximos ocorreram na superfície fotopolimerizada ou próximo a esta, e dependeram em parte da porcentagem de carga das resinas compostas (WATTS, AMER e COMBE, 1984). Os valores de dureza também foram maiores no topo do que na base das amostras nos estudos de Quance et al. (2001) e

de Reis et al. (2003) e esta diferença variou com o tipo de resina composta (QUANCE et al., 2001; PERIS et al., 2005), a intensidade da fotoativação (QUANCE et al., 2001) e o tipo de aparelho fotopolimerizador (PERIS et al., 2005). Neste último quesito Reis et al. (2003) discorda dizendo ser independente da fonte de luz utilizada.

Para a resina composta Z100 fotoativada com ambas as lâmpadas e para a Dyract fotoativada com a luz halógena não houveram diferenças entre o topo e a base das amostras, enquanto para a resina composta Definite fotoativada com ambas as lâmpadas e para a Dyract fotoativada com o LED a dureza no topo foi maior que na base (CEFALY et al., 2005), o que leva a crer que a composição do material resinoso também influencia a passagem de luz através deste.

Entretanto, quando Ramp, Broome e Ramp (2006) utilizaram densidades de energia padronizadas em 8,4J para os aparelhos de LED e de QTH não encontraram diferenças entre os valores de dureza do topo e da base das amostras.

Com as densidades de energia dos aparelhos de LED e QTH padronizadas em 18J, os valores de dureza encontrados no topo foram maiores que na base apenas nas amostras fotoativadas pelo LED e armazenadas por 07 dias ou 30 dias e nas fotoativadas pelo QTH e armazenadas por 07 dias. A dureza encontrada a 100µm do topo foi maior que a 100µm da base nas amostras fotoativadas pelo LED e armazenadas por 30 dias e nas fotoativadas pelo QTH e armazenadas por 07 dias. Pode-se perceber que as diferenças entre o topo e a base das amostras sempre ocorreram nos grupos de maior tempo de armazenagem, o que pode ser devido a um maior grau de polimerização após a fotoativação no topo das amostras ou a um efeito do envelhecimento das amostras mais pronunciado na sua base ou ainda a outra variável não identificada. Entretanto sugere-se mais estudos para esclarecer tal fato. Vale salientar que apesar das diferenças estatisticamente significantes entre o topo e a base de alguns grupos de amostras, todos apresentaram dureza relativa superior a 90%.

O maior aumento de dureza superficial (60%) aconteceu nos primeiros minutos após a fotopolimerização (HANSEN, 1983). A dureza da resina composta Spectrum TPH tanto no topo como na base aumentou de 01h para 24h (COFFEY et al., 2004; KEOGH et al., 2004; RAY et al., 2006) o que também pôde ser verificado com a

resina composta Filtek Z250 fotoativada com ambas as lâmpadas fotoativadoras. Leung, Fan e Johnston (1983) concordam e acrescentam que de 24h para 07 dias de armazenamento não houve aumento de valores de dureza, o que também corrobora com os achados deste estudo, que tem a acrescentar a ausência de diferenças nos valores de dureza no topo e na base das amostras fotoativadas por ambos os aparelhos fotoativadores de 07 dias para 30 dias. Neste estudo foram testadas ainda a dureza a 100 $\mu$ m do topo e a 100 $\mu$ m da base e o que se encontrou foi que estes valores aumentaram nas amostras fotoativadas com o LED de 01h para 24h e desta para 07 dias enquanto nas amostras fotoativadas com o QTH o aumento foi percebido apenas de 01h para 24h.

No entanto, sem a padronização das densidades de energia, para Ray et al. (2006) o tempo de exposição foi mais crítico para o LED (310mW/cm<sup>2</sup>) e o tempo transcorrido após a exposição foi mais crítico para a luz halógena (630mW/cm<sup>2</sup>) motivado pelo fato de a maturação ter sido mais efetiva para o aparelho de luz halógena em todos os tempos de exposição havendo um aumento estatisticamente significativo da dureza de 01h para 24h, e para o LED, a dureza atingida em 01h não variou, desde que os tempos de exposição fossem maiores que 15s.

Para a medição da dureza Knoop das resinas compostas, duas metodologias são utilizadas, e elas foram comparadas para verificar se uma delas é mais adequada.

Na primeira, as medições foram realizadas no topo e na base das amostras, após a fotoativação com a ponteira posicionada diretamente sobre uma de uma tira de poliéster que recobria o corpo-de-prova, o que encontra suporte na literatura sem que haja a necessidades de qualquer outro procedimento (HANSEN, 1983; LEUNG, FAN e JOHNSTON, 1983; QUANCE et al., 2001; DUNN E BUSH, 2002; REIS et al., 2003; COFFEY et al., 2004; KEOGH et al., 2004; CEFALY et al., 2005; ARAVAMUDHAN et al., 2006; RAY et al., 2006; AGUIAR et al., 2005; PERIS et al., 2005; SCHATTEBERG et al., 2008) ou após o polimento com lixas d'água (ASMUSSEN, 1982; RAMP, BROOME e RAMP, 2006). Já Rueggeberg e Craig (1988) utilizaram camadas de resina composta de diferentes espessuras previamente polimerizadas, que foram colocadas sobre a amostra a ser fotoativada, simulando melhor as condições encontradas em

profundidade nas restaurações, devido à ausência de corte e de polimento das amostras.

Na segunda, as medições foram realizadas no interior das amostras seccionadas e polidas, objetivando observar a polimerização das resinas compostas a 100 $\mu$ m do topo e a 100 $\mu$ m da base. Encontra-se na literatura medições no centro das amostras nas profundidades de 0.5, 01, 1.5, 02, 2.5, 03 e 3.5mm (FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006), de 01 e 02mm (OBICI et al., 2005) de 01, 02, 03, 04 e 05mm (OBICI et al, 2004) e a cada 0,5mm de profundidade (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995).

Obici et al. (2004) além de medirem a dureza Knoop na superfície e nas profundidades de 01, 02, 03, 04 e 05mm, também realizaram a metodologia da ISO 4049:2000 para verificar a profundidade de cura, no entanto foi considerada a medida da parte de resina composta que não pôde ser raspada manualmente como a profundidade de cura, enquanto a norma indica que deve ser considerada metade desta medida. Se assim fosse feito, todos os aparelhos fotopolimerizadores teriam adequadamente fotoativado toda a profundidade de cura da resina composta testada.

Cerca de 0,5mm abaixo da superfície de incidência da luz foram encontrados os valores de dureza máximos, provavelmente devido à presença de uma camada de resina composta inibida pelo oxigênio na superfície das amostras (UNTERBRINK e MUESSNER, 1995).

Ao comparar as duas metodologias, não houveram diferenças estatisticamente significantes entre a dureza do topo e a 100 $\mu$ m do mesmo e entre a dureza da base e a 100 $\mu$ m desta quando da utilização de um aparelho de QTH e um de LED, com densidades de energia padronizadas, para todos os tempos de armazenamento.

Para testar a microdureza de um material, a espessura deste deve ser suficiente para que não haja qualquer interferência do substrato subjacente. A indentação deve ser larga o suficiente (mínimo de 25 $\mu$ m) para assegurar que o erro da medida da diagonal seja uma pequena fração de seu comprimento (0,4% ou 0,25 $\mu$ m). O valor de dureza calculado para um determinado material diminui se a carga de teste aumenta até atingir um valor assintótico representativo da dureza “verdadeira” (POBER, 1998)

A diagonal maior da impressão Knoop mede cerca de três vezes mais que a diagonal da impressão Vickers para uma mesma carga, sendo portanto de medição mais precisa e não sofre o fenômeno da recuperação elástica, principalmente para cargas maiores que 300g, que afeta mais a diagonal menor da dureza Knoop e as diagonais da impressão Vickers. O tempo de manutenção da carga por volta de 18s é o desejado e a velocidade de aplicação da carga deve estar entre 01 $\mu$ m/s e 20 $\mu$ m/s; velocidades maiores dão valores mais baixos de dureza. Quando são utilizadas cargas muito pequenas, erros na medida das diagonais ocasionam grandes equívocos na medida da microdureza (SOUZA, 1982)

Os polímeros sofrem deformação elástica quando se utiliza cargas pequenas, e a endentação pode desaparecer como resultado do relaxamento. Para cargas maiores eles escoam de forma irreversível, havendo um comportamento da endentação semelhante ao dos metais (TABOR, 1970). Para testar resinas compostas, Yoldas, Akova e Uysal (2004) sugeriram que cargas menores podem resultar em impressões pequenas e perímetros de impressão incertos, visto que o teste de dureza Knoop realizado com uma carga de 50mg não foi capaz de identificar diferenças entre duas resinas compostas, enquanto o teste realizado com cargas de 100mg e 500mg foi capaz de detectá-las. Para possibilitar a comparação entre os diferentes estudos existe a necessidade de padronizar a carga mínima utilizada nos testes de dureza de resinas compostas, uma vez que são encontrados valores diferentes nos diversos trabalhos como 10g (PERIS et al., 2005), 25g (RUEGGEBERG e CRAIG, 1988; REIS et al. 2003; AGUIAR et al., 2005), 50g (OBICI et al., 2004; CEFALY et al., 2005), 100g (LEONARD et al., 2001; DUNN e BUSH, 2002; FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006; GRITSCH et al., 2008), 200g (WATTS, AMER e COMBE, 1984; OREFICE et al., 2003), 300g (QUANCE et al., 2001; COFFEY et al., 2004; KEOGH et al., 2004; RAY et al., 2006) e 500g (RAMP, BROOME e RAMP, 2006)

Também não há uma padronização dos estudos quanto à temperatura de armazenagem das amostras, que utilizam principalmente 37°C (ASMUSSEN, 1982; LEUNG, FAN e JOHNSTON, 1983; WATTS, AMER e COMBE, 1984; UNTERBRINK e MUESSNER, 1995; AGUIAR et al., 2005; RAMP, BROOME e RAMP, 2006; GRITSCH et al., 2008), mas também 20°C (COFFEY et al., 2004; KEOGH et al., 2004; RAY et al.,

2006) e temperatura ambiente (RUEGGEBERG e CRAIG, 1988; FELIX, PRICE e ANDREOU, 2006), mesmo havendo comprovação de que a temperatura de armazenagem das amostras é capaz de influenciar seus valores de dureza, fazendo com que sejam maiores a 37°C do que a 20°C (WATTS, MCNAUGHTON e GRANT, 1986) e do que a 18°C (QUANCE et al., 2001).

Torna-se muito difícil comparar os diversos estudos encontrados, em razão de utilizarem parâmetros distintos no que tange às intensidades e os tipos de aparelhos, os tempos de ativação, a padronização das densidades de energia, as cargas da endentação, os tempos de endentação, os tipos e as cores dos materiais resinosos, os tipos de durezas avaliadas, os materiais das matrizes utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova, os tempos e as condições de armazenamento.

7 CONCLUSÕES

---

## 7 CONCLUSÕES

- A padronização das densidades de energia proporcionou uma polimerização similar pelos aparelhos testados, exceto para o topo das amostras armazenadas por 07 dias e a 100 $\mu$ m da base das amostras armazenadas por 30 dias, situações nas quais o aparelho de LED forneceu maiores valores de dureza que o de QTH.
- As amostras atingiram seus maiores valores de dureza Knoop após 24h para todos os locais de leitura e aparelhos fotopolimerizadores, exceto para as leituras no interior das amostras fotoativadas com LED que atingiram sua dureza máxima com 07 dias.
- Não houveram diferenças estatisticamente significantes entre a dureza do topo e a 100 $\mu$ m do mesmo e entre a dureza da base e a 100 $\mu$ m desta quando da utilização de um aparelho de QTH e um de LED, para todos os tempos de armazenamento.
- Nos tempos de 01h e 24h não houveram diferenças estatisticamente significantes entre o topo e a base e nem entre 100 $\mu$ m do topo e 100 $\mu$ m da base para ambos os aparelhos fotopolimerizadores. Porém foram encontradas diferenças estatisticamente significantes em 07 dias tanto para as leituras no topo e na base com os aparelhos de LED e QTH quanto a 100 $\mu$ m do topo e 100 $\mu$ m da base com o aparelho de QTH e em 30 dias a 100 $\mu$ m do topo e a 100 $\mu$ m da base para as leituras com o aparelho de LED, o que necessita de mais estudos para explicar tal fato.
- Em todos os grupos a dureza relativa foi maior que 90% e não houveram diferenças estatisticamente significantes em decorrência do tipo de luz, do tempo de armazenamento e do local de medição.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, F. H. B. et al. Effect of light curing tip distance and resin shade on microhardness of resin composite. **Braz. oral res.**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 302-6, 2005.

ANUSAVICE, K. J. **Phillips, Materiais Dentários**, 11ed. Editora Elsevier, Rio de Janeiro: 2005.

ARAVAMUDHAN, K. et al. Light-emitting diode curing light irradiance and polymerization of resin-based composite. **J. am. dent. assoc.**, Chicago, v. 137, p. 213-23, 2006.

ASMUSSEN, E. Restorative resins: hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. **Scand. j. dent. res.**, Copenhagen, v. 90, p. 484–9, 1982.

BARGHI, N.; FISCHER, D. E.; PHAM, T. Revisiting the intensity output of curing lights in private dental offices. **Compend. contin. educ. dent.**, Jamesburg, v. 28, n. 7, p. 380-5, 2007.

BOWEN, R. L. Dental Filling Material Comprising Vinyl Silane Treated Fused Silica and a Binder Consisting of the Reaction Phroduct of Bis Phenol and Glycidyl Acrilate. **US Patent** 3,066,112, 1962.

BURGESS, J. O. et al. Light curing – an update. **Compend. contin. educ. dent.**, Jamesburg, v. 23, n. 10, p. 889-906, 2002.

CEFALY, D. F. G. et al. Microhardness of resin-based materials polymerized with led and halogen curing units. **Baz. dent. j.**, Ribeirao Preto, v. 16, n. 2, p. 98-102, 2005.

COFFEY, O. et. al. In vitro study of surface microhardness of a resin composite exposed to a quartz-halogen light. **Qintessence int.**, Berlin, v. 35, n. 10, p. 795-800, 2004.

DUNN, W. J.; BUSH, A. C. A comparison of polimerization by light-emitting-diode and halogen-based light-curing units. **J. am. dent. assoc.**, Chicago, v. 133, p. 335-41, Mar. 2002.

FAN, P.L. et al. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. **J. am. dent. assoc.**, Chicago, v. 133, p. 429-34, Apr. 2002.

FELIX, C. A.; PRICE, R. B. T.; ANDREOU, P. Effect of reduced exposure times on the microhardness of 10 resin composites cured by high-power LED and QTH curing-lights. **J. can. dent. assoc.**, Toronto, v. 72, p. 147-g, Mar. 2006.

Filtek™ Z250 restaurador universal para dentes anteriores e posteriores. Perfil técnico do produto. Disponível em: <http://multimedia.mmm.com/mws/mediawebserver.dyn?6666660Zjcf6IVs6EVs66SIBnCOrrrrQ>- Acessado em 24/11/2007.

GRITSCH, K. et al. Influence of light energy and power density on the microhardness of two nanohybrid composites. **Eur. j. oral sci.**, Copenhagen, v. 116, p. 77–82, 2008.

HAMMESFAHR, P. D.; O'CONNOR, M. T.; WANG, X. Light-curing technology: past, present and future. **Compend. contin. educ. dent.**, Jamesburg, v. 23, n. 9, suppl. 1, p. 18-24, 2002.

HANSEN, E. K. After polymerization of visible light activated resins: surface hardness VS light source. **Scand. j. dent. res.**, Copenhagen, v. 91, p. 406-10, 1983.

International Organization for Standardization. ISO 4049:2000. Dentistry—polymer-based filling, restorative and luting materials. 3rd ed. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2000.

KEOGH, P. et al. Surface microhardness of a resin composite exposed to a “first-generation” LED curing lamp, in vitro. **Eur. j. prosthodont. restor. dent.**, Larkfield, v.12, n. 4, p. 177-80, 2004.

LEONARD, et al. Determination of the minimum irradiance required for adequate polymerization of a hybrid and a microfill composite. **Oper. Dent.**, Seattle, v. 26, p. 176-180, 2001.

LEUNG, R. L.; FAN, P. L.; JOHNSTON, W. M. Post irradiation polymerization of visible-light activated composite resins, **J. dent. res.**, Washington, v. 62 p. 363–365, 1983.

OBICI, A. C. et al. Evaluation of depth of cure and knoop hardness in a dental composite photo-activated using different methods. **Baz. dent. j.**, Ribeirao Preto, v. 15, n. 3, p. 199–203, 2004.

OBICI, A. C. et al. Degree of conversion and knoop hardness of Z250 composite using different photo-activation methods. **Polym. test.** [S.L.] v. 24, p. 814–8, 2005.

OREFICE, R. L. et al. In situ evaluation of the polymerization kinetics and corresponding evolution of the mechanical properties of dental composites, **Polym. test.** [S.L.] v. 22, p. 77–81, 2003.

OWENS, B. M.; RODRIGUEZ, K. H. Radiometric and spectrophotometric analysis of third generation light-emitting diode (LED) light-curing units. **J. contemp. dent. pract. (Online)**, Cincinnati, v. 8, n. 2, p. 43-51, 2007.

PERIS, A. R. et al. The effect of composite type on microhardness when using quartz-tungsten-halogen (QTH) or LED lights. **Oper. Dent.**, Seattle, v. 30, n. 5, p. 649-54.

POBER, R. Reporting microhardness data in Scientific publications, **J. dent. res.**, Washington, v.77, p. 1766, 1998.

QUANCE, S. C. et al. Effect of exposure intensity and post-cure temperature storage on hardness of contemporary photo-activated composites. **J. dent.**, Guildford, v. 29, p. 553-60, 2001.

RAMP, L. C.; BROOME, J. C.; RAMP, M. H. Hardness and wear resistance of two resin composites cured with equivalent radiant exposure from a low irradiance LED and QTH light-curing units. **Am. j. dent.**, San Antonio, v. 19, p. 31-6, 2006.

RAY, N. J. et al. Surface microhardness of a resin composite: a comparison of a tungsten halogen and a LED light curing unit. **Eur. j. prosthodont. restor. dent.**, Larkfield, v.14, n. 1, p. 7-12, 2006.

REIS, A. M. et al. Influência da polimerização com diferentes fontes de luz na microdureza de uma resina composta. **Rev. ciên. odontol.**, São Paulo, v. 6, n. 6, p. 107-11, 2003.

RUEGGERBERG, F.A. Precision of hand held dental radiometers. **Quintessence int.**, Berlin, v. 24, n. 6, p. 391-6, 1993.

RUEGGERBERG, F.A.; CAUGHMAN, W.F.; CURTIS, J.W. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composites. **Oper. Dent.**, Seattle, v. 19, n. 1, p. 26-32, 1994.

RUEGGERBERG, F.A.; CRAIG, R.G. Correlation parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. **J. dent. res.**, Washington, v. 67, n. 6, p. 932-7, 1988.

SCHATTENBERG, A. et al., Minimal exposure time of different LED-curing devices, **Dent. mater.**, Washington, 2008, doi:10.1016/j.dental.2007.12.001 article in press

SHORTALL, A. C. How light source and product shade influence cure depth for a contemporary composite. **J. oral rehabil.**, Oxford, v. 32, p. 906-11, 2005.

SHORTALL, A.; HARRINGTON, E. Guidelines for the selection, use and maintenance of visible light activation units. **Br. dent. j.**, London, v. 181, n. 10, p. 383-7, 1996.

SOUZA, S. A. Ensaio de Dureza. In \_\_\_\_\_. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos – Fundamentos teóricos e práticos**. 5ªed., Editora Edgard Blücher LTDA. 304páginas 1982.

TABOR, D. The hardness of solids. **Ver. Phys. Tech.** [S.L.] v. 1, p. 145-79, 1970

TARLE Z. et al. Composite conversion and temperature rise using a conventional, plasma arc, and an experimental blue LED curing unit. **J. Oral Rehabil.**, v. 29, p. 662-7, 2002.

TATE, W. H.; PORTER, K. H. DOSCH, R.O. Succesfull photocuring: dont restaure without it. **Oper. Dent.**, Seattle, v. 24, p. 109-14, 1999.

UNTERBRINK, G. L.; MUESSNER, R. Influence of light intensity on two restorative systems. **J. dent.**, Guildford, v. 23, n. 3, p. 183–9, 1995.

WATTS, D. C.; AMER, O.; COMBE, E. C. Characteristics of visible-light-activated composite systems. **Br. dent. j.**, London, v. 156, p. 209-15, 1984.

WATTS, D. C.; MCNAUGHTON, V.; GRANT, A. A. The developement of surface hardness in visible light cured posterior composites. **J. dent.**, Guildford, v.14, p.169–74, 1986.

YOLDAS, O. AKOVA, T. UYSAL, H. Influence of different indentation load and dwell time on Knoop microhardness tests for composite materials. **Polym. test.** [S.L.]. v. 23, p.343–6, 2004.