KÁTIA MARTINS RODE

**ESTUDO DO EFEITO DA DISTÂNCIA DA PONTA DE APARELHOS
FOTOATIVADORES NA MICRODUREZA E NO GRAU DE
CONVERSÃO DA RESINA COMPOSTA USANDO LUZ HALÓGENA,
LASER DE ARGÔNIO E LED**

São Paulo

2006

Kátia Martins Rode

**Estudo do efeito da distância da ponta de aparelhos fotoativadores
na microdureza e no grau de conversão da resina composta usando
luz halógena, laser de argônio e LED**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia
da Universidade de São Paulo, para obter o
Título de Doutor pelo Programa de Pós-
Graduação em Odontologia.

Área de Concentração: Dentística

Orientadora: Profa. Dra. Míriam Lacalle Turbino

São Paulo

2006

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

Rode, Kátia Martins

Estudo do efeito da distância da ponta de aparelhos fotoativadores na microdureza no grau de conversão da resina composta usando luz halógena, laser de argônio e LED / Kátia Martins Rode; orientador Miriam Lacalle Turbino. -- São Paulo, 2006.

141p. : fig., tab., graf.; 30 cm.

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

1. Resinas compostas – Fotoativação – Avaliação 2. Dentina - Polimerização

CDD 617.6342

BLACK D226

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE E COMUNICADO AO AUTOR A REFERÊNCIA DA CITAÇÃO.

São Paulo, ____/____/____

Assinatura:

E-mail:

FOLHA DE APROVAÇÃO

Rode KM. Estudo do efeito da distância da ponta de aparelhos fotoativadores na microdureza e no grau de conversão da resina composta usando luz halógena, laser de argônio e LED [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2006.

São Paulo, / /

Banca Examinadora

1) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

2) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

3) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

4) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

5) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho

*Ao meu marido **Adélio (Lelo)**, pela compreensão, ajuda e principalmente pelo amor e paciência. Obrigada por entender a minha ausência e por não deixar me desanimar.*

*À minha mãe **Márcia** e meus irmãos **Myrna e Christian** pela paciência, apoio, amor e carinho que foram importantes e imprescindíveis para a realização deste trabalho. Muito obrigada!*

*E ao meu pai **Sigmar** pelo incentivo e ajuda. Foi meu primeiro mestre e exemplo na carreira acadêmica, de profissionalismo e competência. Obrigada por tudo!*

*Aos meus avós **Ivette e Martins**, que mesmo passando por momentos difíceis sempre me apoiaram e me deram força para continuar.*

*À minha avó **Norma**, sempre carinhosa, presente e me incentivando.*

*Ao meu avô **Rolf** pelo exemplo profissional e por ter guiado os meus primeiros passos como cirurgiã dentista.*

Queridos avós, vocês estarão sempre no meu coração!

*E aos meus sogros, **Adélio e Valdete**, pelo carinho e apoio. E à minha cunhada **Daniela** pelo incentivo e ajuda.*

*Também dedico este trabalho à **Profa. Dra. Míriam Lacalle Turbino**, que além de minha orientadora, é uma grande amiga. Exemplo de pessoa determinada e sincera. Obrigada por sempre ter acreditado em mim, me aceitando como sua orientada novamente e, principalmente, pelo apoio, paciência, carinho e dedicação.*

*“Há pessoas que nos falam e nem as escutamos,
há pessoas que nos ferem e nem cicatrizes deixam.
Mas há pessoas que, simplesmente, aparecem em nossas vidas
e que marcam para sempre.”*
Cecília Meireles

AGREDECIMENTOS

Agradeço ao **Prof. Yoshio Kawano** pela dedicação e compreensão. Obrigada pela ajuda e orientação na fase experimental e na parte química deste trabalho. Sempre prestativo e atencioso, é uma pessoa especial a quem tive o privilégio de conhecer.

À Profa. **Margareth Oda**, pelo apoio e incentivo neste trabalho e durante toda minha pós-graduação. E principalmente pela amizade e carinho por mim. Muito obrigada!

À **Patrícia Ramos Lloret**, uma grande amiga, pelo carinho e confiança. Obrigada por estar sempre junto dando força. Sua amizade é muito importante para mim.

À **Cilene Rennó Junqueira** pela amizade, apoio e ajuda, que foram de fundamental importância na realização deste e outros trabalhos.

Aos amigos **Márcio Vivan, Alessandra, Fábio Robles e Patrícia Freitas** pela amizade sincera, que cresceu durante o curso, pela disponibilidade em ajudar e por todas as informações que trocamos.

E aos amigos e colegas de pós-graduação **Ricardo Archilla, Vinícius, Ana Cecília, Thaís, Sheila, Manuel Roberto, Beatriz, Alex, Ninoshka, Washington e Arlene**, nossa amizade durante o curso foram muito importante sempre ajudando e incentivando para não desanimar.

Às amigas **Maine e Valéria** que estiveram sempre presentes, ajudando sempre que possível.

Ao professor e amigo **Luiz Alberto P. Penna**, pela atenção e incentivo.

Ao **Prof. Carlos Francci** pela ajuda na execução desse trabalho. Também sempre prestativo, estava sempre pronto para ajudar.

Aos professores **Prof. Carlos de Paula Eduardo**, **Profa. Márcia Martins Marques** e **Prof. Narciso Garone Netto**, sempre prestativos, pelo apoio e pelas orientações. Aos professores do **Departamento de Dentística** pela atenção que me atenderam.

Aos funcionários **David Lascalla**, **Sônia** e **Aldo** pela dedicação e atenção com que sempre me atenderam. Às funcionárias do LELO, **Cida** e **Liliane**, que foram sempre prestativas e amigas. À Neuza e Ana e a todos os funcionários do Departamento de Dentística.

Às amigas **Catia Fiezzi dos Santos** e **Nair Hatsuko Tanaka Costa**, e aos funcionários da pós-graduação, pela ajuda, atenção e eficiência.

Aos funcionários da biblioteca pela atenção e presteza. À **Vânia Martins Bueno de Oliveira Funaro** pela correção e ajuda na fase final deste trabalho.

Aos membros da banca por terem aceitado fazer parte desta fase importante da minha vida.

À **FAPESP**, pelo apoio financeiro na compra do laser de argônio (99/11408-1) e na realização deste trabalho (2004/14119-0).

Obrigada a todos os demais que me ajudaram cujo agradecimento não caberia neste espaço!

*“Sem amigos ninguém escolheria viver,
mesmo que tivesse todos os outros
bens.”*
Aristóteles

Rode KM. Estudo do efeito da distância da ponta de aparelhos fotoativadores na microdureza e no grau de conversão da resina composta usando luz halógena, laser de argônio e LED [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2006.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da distância da ponta fotoativadora na profundidade de polimerização da resina composta por meio de testes de microdureza Vickers e da análise do grau de conversão pelo método FT-Raman. O aparelho de luz halógena (500 mW/cm^2) e o LED (900 mW/cm^2) foram utilizados na sua intensidade convencional. O laser de argônio, na potência de 250 mW. Os tempos de fotoativação foram de 40 segundos para a luz halógena, 20 segundos para o LED e 20 e 30 segundos para o laser. E as distâncias da ponta fotoativadora foi padronizada com anéis de 3, 6 e 9 mm de altura. A resina composta micro-híbrida foi inserida em porção única, em matrizes de polipropileno pretas com as espessuras de 1 a 4 mm. Os corpos-de-prova foram armazenados por uma semana a seco, a 37°C em recipientes protegidos da luz. Os dados da microdureza e do grau de conversão foram analisados separadamente por meio da análise de variância e teste de Tukey, com nível de significância de 5% e depois correlacionados pelo teste de correlação de Pearson. Os resultados obtidos permitiram concluir que: o aumento da distância da fonte de luz promoveu uma diminuição nos valores de microdureza e no grau de conversão para todos os tipos de fontes de luz estudados e o mesmo ocorreu com o aumento da espessura de resina composta diminuindo também os valores de microdureza e grau de conversão. Houve uma alta correlação entre a análise PDM (porcentagem de dureza máxima) e a análise do grau de conversão e entre o teste de microdureza e a análise do grau de conversão. As fontes de fotoativação estudadas promoveram grau de conversão e microdureza correspondentes entre si, desde que a espessura da resina fosse de 1 mm de espessura e a que a fonte estivesse a uma distância máxima de 3 mm.

Palavras-Chave: Resina composta – Fotoativação – Profundidade de polimerização – Laser de Argônio – Luz halógena – Microdureza

Rode KM. Study of effect of light curing tip distance on microhardness and on degree of conversion of a composite resin using halogen light, argon laser and LED. [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2006.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of curing tip distance on cure depth of a composite resin, measuring the Vickers microhardness and determining the degree of conversion, using FT-Raman spectroscopy. The halogen light (500 mW/cm²) and the LED (900 mW/cm²) were used with conventional intensity of power and the argon laser with 250mW. The exposure time was 40 seconds to halogen light, 20 seconds to LED and 20 and 30 seconds to Argon laser. And the curing tip distances used (0, 3, 6 e 9 mm) were controlled by metals rings. The composite was placed in one increment, in a black polipropilen matrix with thickness of the 1 to 4 mm. The specimens were stored for one week in dry stove, for 37°C in containers protect from the light. The values of microhardness and degree of coonversion were analyzed separately by ANOVA (Analysis of variance) and Tukey test, with significance level for 5%. Then, the correlation was analyzed by Pearson test. The results obtained conclude that: the increased of tip distance produced a decreased in microhardness and degree of conversion values; the microhardness and degree conversion values decreased as the thickness increased; it showed a higher correlation between the qualities of polymerization and the degree of conversion and between the microhardness test and the degree of conversion. The present study suggests that the units of polymerization studied produced microhardness and degree of conversion values that corresponded to each other, only with 1mm of thickness and using a tip distance of 3 mm, at most.

Keywords: composite resin, cure light, depth of cure, argon laser, halogen light, microhardness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 - Matrizes de polipropileno pretas nas espessuras de 1, 2, 3 e 4 mm	77
Figura 4.2 - Matriz e tira de poliéster posicionada sobre a lâmina e a cartolina	77
Figura 4.3 - Anéis de metais nas alturas de 1, 2, 3 e 4 mm com as matrizes e os anéis de padronização da distância de 3, 6 e 9 mm	79
Figura 4.4 - Pontas dos fotoativadores em posição: A) Halógena; B) Laser; C)LED	79
Figura 4.5 – Corpos-de-prova concluídos nas espessuras de 1, 2, 3 e 4 mm.	79
Figura 4.6 - A) Microdurômetro B) Execução da marca com penetrador Vickers	80
Figura 4.7 - Esquema da localização das identações em cada corpo-de-prova	81
Figura 4.8 - Marca deixada pelo penetrador no corpo-de-prova	81
Figura 4.9 – Aparelho espectrômetro FT-Raman (Departamento de Química Fundamental)	83
Gráfico 5.1 - Interação distância x espessuras – Luz halógena.	88
Gráfico 5.2 - Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 20 s..	89
Gráfico 5.3 - Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 30 s	90
Gráfico 5.4 - Interação distância x espessuras – LED.....	91

Gráfico 5.5 - Valores de PDM para a interação fonte <i>versus</i> espessuras na distância de 0 mm	93
Gráfico 5.6 - Valores de PDM para a interação fonte <i>versus</i> espessuras na distância de 3 mm.	94
Gráfico 5.7 - Valores de PDM para a interação fonte <i>versus</i> espessuras na distância de 6 mm	95
Gráfico 5.8 - Valores de PDM para a interação fonte <i>versus</i> espessuras na distância de 9 mm	96
Gráfico 5.9 - Interação distância x espessuras – Luz halógena (grau de conversão)	100
Gráfico 5.10 - Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 20 s (grau de conversão).	101
Gráfico 5.11 - Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 30 s (grau de conversão).	102
Gráfico 5.12 - Interação distância x espessuras – LED (grau de conversão).....	103
Gráfico 5.13 - Interação espessura X fonte – com 0 mm de distância (grau de conversão)	104
Gráfico 5.14 - Interação espessura X fonte – com 3 mm de distância (grau de conversão).	105
Gráfico 5.15 - Interação espessura X fonte – com 6 mm de distância (grau de conversão).	106
Gráfico 5.16 - Interação espessura X fonte – com 9 mm de distância (grau de conversão).	108

Gráfico 5.17 - Correlação entre os valores de microdureza e grau de conversão... 110

Gráfico 5.18 - Correlação entre os valores de PDM e grau de conversão 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Valores médios de microdureza Vickers (carga de 50gf e tempo de 45s) - resina híbrida	85
Tabela 5.2 - Valores médios de microdureza Vickers da interação distância <i>versus</i> espessuras para a fonte de luz halógena por 40 s.....	88
Tabela 5.3 - Valores médios de microdureza Vickers da interação distância <i>versus</i> espessuras para a fonte laser de argônio por 20 s	89
Tabela 5.4 - Valores médios de microdureza Vickers da interação distância <i>versus</i> espessuras o laser de argônio por 30 s	90
Tabela 5.5 - Valores médios de microdureza Vickers da interação distância <i>versus</i> espessuras para a fonte LED por 20 s	91
Tabela 5.6 - Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes <i>versus</i> espessuras na distância de 0 mm	93
Tabela 5.7 - Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes <i>versus</i> espessuras na distância de 3 mm	94
Tabela 5.8 - Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes <i>versus</i> espessuras na distância de 6 mm	95
Tabela 5.9 - Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes <i>versus</i> espessuras na distância de 9 mm	96
Tabela 5.10 -Valores de grau de conversão (%).....	98

Tabela 5.11 -Valores médios de grau de conversão da interação distância <i>versus</i> espessuras <i>versus</i> fonte para fonte de luz halógena	100
Tabela 5.12 -Valores médios de grau de conversão da interação distância <i>versus</i> espessuras <i>versus</i> fonte para a fonte: laser de argônio por 20 s.....	101
Tabela 5.13 -Valores médios de grau de conversão da interação distância <i>versus</i> espessuras <i>versus</i> fonte para o laser de argônio por 30 s.....	102
Tabela 5.14 -Valores médios de grau de conversão da interação distância <i>versus</i> espessuras <i>versus</i> fonte para a fonte LED	103
Tabela 5.15 -Valores médios de grau de conversão da interação espessura <i>versus</i> fontes na distância de 0 mm	104
Tabela 5.16 -Valores médios de grau de conversão da interação espessura <i>versus</i> fontes na distância de 3 mm.	105
Tabela 5.17 -Valores médios de grau de conversão da interação espessura <i>versus</i> fontes na distância de 6 mm.	106
Tabela 5.18 -Valores médios de grau de conversão da interação espessura <i>versus</i> fontes na distância de 9 mm.	107
Tabela 5.19 -Valores de correlação entre os valores de microdureza e grau de conversão.....	109
Tabela 5.20 -Valores de correlação entre os valores de microdureza e grau de conversão.....	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Características dos grupos confeccionados	76
Quadro 5.1 - Resultados da Análise de variância – microdureza	87
Quadro 5.2 - Resultados da Análise de variância – grau de conversão	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED	Light Emited Diode – Diodo emissor de luz
LASER	Light amplification by stimulated emission of radiation – amplificação da luz por emissão estimulada de radiação
FTIR	Fourier Transformed Infrared – Infravermelho com Transformada de Fourier
FT	Fourier Transformed – Transformada de Fourier
PDM	porcentagem de dureza máxima
ISO	International Organization for Standardization
BIS-GMA	Bisfenol glicidil metacrilato
CO ₂	dióxido de carbono
Nd:YAG	Neodímio, Ítrio, Alumínio, Granada
°C	grau Celsius
µm	micrometro
nm	nanômetro
mm	milímetro
s	segundo
W	watt
mW	miliwatt
mW/cm ²	miliwatt por centímetro quadrado
gf	grama força
kgf/mm ²	quilograma força por milímetro quadrado
J/cm ²	joule por centímetro quadrado
H40	luz halógena por 40 segundos

L20 laser por 20 segundos

L30 laser por 30 segundos

LED20 LED por 20 segundos

SUMÁRIO

p.

1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1 Fontes de Ativação da resina composta	23
2.1.1 Luz halógena.....	27
2.1.2 LED	31
2.1.3 Laser de íon argônio	34
2.1.4 Efeito do distanciamento da luz.....	45
2.2 Meios diretos e indiretos de avaliação da polimerização de resinas compostas	55
2.2.1 Microdureza.....	56
2.2.2 Grau de Conversão	64
2.2.3 Correlação entre dureza e grau de conversão	69
3 PROPOSIÇÃO	72
4 MATERIAL E MÉTODOS	73
4.1 Material	73
4.2 Equipamentos	74
4.3 Métodos	76
4.3.1 Análise da Microdureza	80
4.3.2 Análise do Grau de Conversão	82
5 RESULTADOS	84
5.1 Microdureza	84
5.2 Grau de Conversão	97
5.3 Correlação entre microdureza e grau de conversão	108
6.DISSCUSSÃO	112
7 CONCLUSÃO.....	131

REFERÊNCIAS..... 133

1 INTRODUÇÃO

Após a introdução das resinas compostas fotoativadas, a qualidade da polimerização passou a ser uma das grandes preocupações dos pesquisadores da área. Com isso, novas tecnologias têm sido desenvolvidas com o intuito de se conseguir produzir luz necessária para uma conversão eficiente dos compósitos, resultando assim em uma melhora das suas propriedades físico-mecânicas (HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002).

Inicialmente, o sistema de fotoativação utilizava a luz ultravioleta, que depois foi substituída pela luz halógena em função de a primeira apresentar algumas desvantagens, como baixo poder de penetração (POLONIATO, 1998), além de danos aos tecidos orais e aos olhos quando expostos por longo período (HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002).

Nos aparelhos de luz halógena, os filtros utilizados para desprezar os comprimentos de onda inativos para a canforquinona tornam a faixa de luz aproveitada muito pequena, resultando em apenas 1% de energia aproveitada. Além disso, as altas temperaturas geradas no funcionamento degradam, com o tempo, os componentes dos bulbos da lâmpada de luz (DUNN; BUSH, 2002; HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002).

Na busca de melhorar a eficiência da fotoativação, novos aparelhos estão sendo desenvolvidos. E como se sabe, uma polimerização adequada depende principalmente da intensidade da fonte de luz, do comprimento de onda emitido e do tempo de irradiação (LEONARD et al., 2001). Por isso, tanto o laser de argônio

quanto o LED (Diodos Emissores de Luz) têm sido sugeridos e seus estudos estimulados.

O laser de íon argônio emite nas faixas azul e verde do espectro eletromagnético, sendo que o comprimento de onda azul de 488nm é capaz de polimerizar resinas compostas. A indicação do laser de argônio como fonte fotoativadora é controversa. Enquanto alguns autores (BLANKENAU et al. 1991; POWELL; BLANKENAU 2001) afirmam se tratar de um equipamento mais eficiente na fotoativação das resinas compostas – quando comparado à luz halógena – outros autores têm mostrado uma ação menos eficaz do laser (RODE; LLORET; TURBINO, 2005; SANTOS, 2002).

O LED foi proposto, em 1995, como alternativa para fotoativar resinas compostas. No lugar dos filamentos usados nos bulbos de luz halógena, junções de semicondutores são utilizadas para gerar luz, por serem resistentes a choques e vibrações, além de gerar menos calor e gastar pouca energia. Os LEDs produzem luz com comprimento de onda de 400-500nm, próximo à banda de absorção da canforquinona (DUNN; BUSH, 2002). E recentemente tem sido comercializada uma segunda geração de LEDs que, segundo os fabricantes, são capazes de polimerizar a resina composta na metade do tempo do que os aparelhos antecessores (SHORTALL, 2005).

Apesar de esses novos aparelhos de fotoativação já serem utilizados clinicamente, ainda é necessário que sejam testados laboratorialmente. Se a fotoativação das resinas compostas for insuficiente, pode resultar em falhas nas restaurações, diminuindo sua longevidade. Alguns dos testes utilizados para se verificar a profundidade de polimerização e as propriedades físicas de resinas

compostas fotoativadas por diferentes aparelhos, são a microdureza e a análise do grau de conversão.

A microdureza dos compósitos tem sido utilizada para indicar o grau de polimerização desses materiais. Também vem sendo estudada, relacionada com tipo de resina, tempo de polimerização, profundidade de polimerização e com a resistência adesiva à dentina (LEONARD et al., 2001; RODE; LLORET; TURBINO, 2005; UMBEHAUN, 2001; UNTERBRINK; MUESSNER, 1995;).

A análise do grau de conversão, realizada principalmente por meio da espectroscopia vibracional FTIR e Raman, de uma maneira geral, fornece informações detalhadas sobre as transições entre os níveis de energia vibracional das amostras em estudos. No caso das resinas compostas, detectam-se as transições de duplas ligações não reagidas (LELOUP et al., 2002; PIANELLI et al., 1999; YOON et al., 2002).

Além do tipo de luz utilizada, outros fatores podem interferir na profundidade de polimerização das resinas compostas, como o tempo de exposição, cor da resina, tipo de resina, qualidade da luz emitida e a localização da luz (CORRER SOBRINHO et al., 2000; LELOUP et al., 2002). A distância entre a fonte de luz e o compósito, por exemplo, interfere diretamente na intensidade de luz sobre a superfície da resina e, com isso, na profundidade de polimerização. Segundo a literatura, a intensidade de luz diminui quando a ponta do aparelho é distanciada da resina composta (CALDAS et al., 2003; PIRES et al., 1993,).

Clinicamente, o controle dessa distância é muito difícil, devido a alguns fatores que não permitem que a ponta do aparelho se aproxime da resina composta durante a fotoativação (ponta de cúspides, restaurações proximais, posição do dente no arco). Diante disso, o propósito deste estudo é avaliar qual a interferência da

distância da ponta fotoativadora na profundidade de polimerização da resina composta, fotoativada com o laser de argônio, com o LED e com a luz halógena, por meio da microdureza e do grau de conversão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fontes de fotoativação das resinas compostas

Yearn (1985) estudou alguns fatores que determinam as características de polimerização e eficiência dos compósitos ativados por luz visível (composição do material restaurador, luz incidente e técnica utilizada pelo profissional). O autor relata que a composição da resina (matriz e/ou carga) pode afetar a transmissão da luz, e que comprimentos de onda abaixo de 400 e acima de 500 nm contribuem pouco para a fotoativação das resinas; sugere como ideal 470 nm. Para qualquer formulação, as características de fotoativação dependem da intensidade e do comprimento de onda da luz disponível, que por sua vez dependem da fonte luminosa utilizada. Utilizando aparelho fotoativador com intensidade de 300 a 1000 W/cm², observou que o aumento da intensidade e a diminuição da distância da ponta não só afetaram a profundidade de polimerização, mas também a dureza máxima na superfície. Sugeriu que o profissional deva controlar o tempo de irradiação e a distância da ponta fotoativadora. O autor questionou a técnica de varredura com a ponta fotoativadora, afirmando que o efeito produzido com esta técnica é o mesmo obtido com a redução do tempo de polimerização. Sugeriu a técnica pontual, com a ponta fotoativadora o mais próximo possível do material restaurador e que, em cavidades que excedam 7 mm de profundidade, a restauração deve ser feita pela técnica incremental.

Tate, Porter e Dosh (1999) abordaram algumas relevâncias no processo de fotoativação. O espectro de absorção para o mais comum fotoiniciador de compósitos fotoativados, a canforquinona, está entre 450 e 500 nm com o máximo de absorção em 477 nm. A luz de polimerização é medida em intensidade de radiação (mW/cm^2) e pode afetar as propriedades físicas dos compósitos, como a adesão. Os autores verificaram na literatura que o mínimo de $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$ é indicado para polimerizar resinas compostas, e que altas intensidades podem aumentar a contração de polimerização. Um instrumento eficiente para se medir a intensidade de radiação dos aparelhos fotoativadores de luz visível é o radiômetro, que é capaz de medir a intensidade de luz em um estreito comprimento de onda. Verificaram também que alguns fatores podem influenciar na transmissão de luz através dos materiais como, a espessura e a cor do material (cor escura prejudica a transmissão de luz), a quantidade e o tamanho das partículas (partículas de 0,01 a 1 μm reduzem a penetração da luz), forma da cavidade e a distância entre a fonte e a superfície da restauração. E mostraram que, como a polimerização dos materiais restauradores geralmente diminui da superfície para o interior da resina, apenas a dureza de superfície não pode ser considerada como um bom indicador de que a resina foi completamente polimerizada.

Importantes tecnologias têm sido utilizadas para produzir luz através dos aparelhos fotoativadores como: a luz de quartzo-tungstênio halógena, o arco de plasma, o laser e mais recentemente diodos emissores de luz (LEDs). Os aparelhos de luz halógena apresentam várias vantagens, como por exemplo, seu espectro de emissão de luz que é muito próximo à curva de absorção da canforquinona e, apesar de não ser tão próxima à curva de absorção da propanodiona (PPD), é próximo da região de 400 a 450 nm, o que permite a sensibilização desse tipo de

fotoiniciador também. É um aparelho disponível há bastante tempo que tem sido aprimorado ao longo dos anos, com o aumento de sua potência e assim com a diminuição do tempo necessário para a fotoativação das resinas. Porém, os aparelhos de luz halógena apresentam também algumas desvantagens como a emissão de um largo espectro de luz, desde o infravermelho até o ultravioleta, sendo necessário um filtro para que apenas uma pequena porcentagem desse espectro, útil para a ativação das resinas, seja transmitida. Por causa da grande quantidade da luz infravermelha emitida é gerado também muito calor, por isso a necessidade de refrigeração do aparelho. Com o tempo, os bulbos e o filtro desses aparelhos se degradam diminuindo gradualmente a potência da luz emitida e fazendo com que seja transmitida luz em comprimentos de onda indesejados. Por causa dessas desvantagens, novas fontes de luz têm sido exploradas para a fotoativação de resinas compostas. O laser de argônio emite luz em um comprimento de onda bem característico, uma delas em 488 nm, e, apesar de a potência emitida ser 3 a 4 vezes maior que da luz halógena, não coincide perfeitamente com a banda de absorção da canforquinona e com isso é menos eficiente em fotoativar a resina do que se esperava. É um aparelho de custo alto, necessita de uma grande energia para funcionar, e também de bastante refrigeração. Além de ser um aparelho grande, de difícil movimentação, deve ser operado sob normas de segurança, pois pode danificar olhos e tecidos. A mais recente tecnologia são os aparelhos LEDs. São aparelhos que emitem luz também em um intervalo pequeno do espectro, menor do que a da luz halógena e do arco de plasma, não sendo necessária a utilização de filtros e refrigeração. O espectro emitido coincide com a curva de absorção da canforquinona, porém como a distribuição do comprimento de onda é estreita, a eficiência para o PPD é limitada. Os LEDs são os dispositivos mais

eficientes em transformar corrente elétrica em radiação eletromagnética, com isso pode ser usado sem fio, com bateria, e possui uma vida útil maior do que os aparelhos de luz halógena. Além disso, como seu dispositivo é sólido, é menos frágil do que os tubos de gás do laser ou do que os bulbos da luz halógena (HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002).

Fan et al. (2002) alertaram para fatores que podem exercer influência sobre a fotoativação da resina composta, como por exemplo: a composição do material, o tipo e concentração do fotoiniciador, o comprimento de onda da luz e o máximo do comprimento de onda, a intensidade da luz e o tempo de irradiação. Como método para avaliar a polimerização da resina, os autores sugeriram a avaliação da profundidade de polimerização, que pode ser medida por testes de dureza, de interação com corantes, mudanças de translucência, grau de conversão, microimagem de ressonância magnética, testes de penetração e testes de desgaste. Os autores compararam diversas cores de 5 marcas de resina e testaram a profundidade de polimerização pelo método sugerido pela *ISO-International Organization for Standardization* onde a mínima intensidade de luz necessária é de 300 mW/cm^2 e comprimento de onda de 400 a 515 nm. Para uma resina ser aceita, é necessário que o tempo de ativação recomendado pelo fabricante promova 1,5mm de profundidade de polimerização. Para avaliar essa profundidade de polimerização, foi padronizado o método de raspagem, com espátula de plástico da porção não polimerizada. E concluíram que aparelhos com intensidade de 300 mW/cm^2 parece ser efetivo na fotoativação da maioria das resinas, se utilizado um tempo de irradiação apropriado.

2.1.1 Luz halógena

Friedman e Hassan (1984) estudaram a profundidade de polimerização de vários aparelhos de luz halógena de marcas diferentes, por meio da medida da dureza Barcol de quatro resinas. Antes de cada teste, a intensidade de luz de cada aparelho foi medida com um radiômetro. Os maiores valores de dureza foram obtidos com os aparelhos que geraram maior intensidade de luz e com maior diâmetro na ponta, aumentando a área de transmissão de luz. As diferenças na polimerização foram mais aparentes nas resinas mais escuras e opacas.

Rueggeberg, Caughman e Curtis Jr. (1994) pesquisaram a interdependência entre o tempo de exposição e a intensidade da fonte de luz em resinas compostas em várias profundidades. Utilizaram uma resina híbrida e uma microparticulada. Avaliaram as intensidades de 800, 578, 400 e 233 mW/cm². As amostras foram fotoativadas por 20, 40, 60 e 80 segundos. Avaliaram por meio de espectroscopia de infravermelho e verificaram que, com o aumento da profundidade, houve uma diminuição drástica da polimerização das resinas compostas. Os autores concluíram que 60s de exposição era recomendado para promover uma polimerização uniforme e compensar a diminuição na intensidade da fonte de luz. Os incrementos de resina não deveriam ultrapassar 2mm de espessura, sendo que o ideal seriam incrementos de 1mm, polimerizados com uma intensidade mínima de 400 mW/cm². E que não se deveria utilizar intensidade menor que 233 mW/cm², pois foram responsáveis pelos piores resultados de polimerização.

As luzes fotoativadoras de alta intensidade são recomendadas quase que universalmente. Unterbrink e Muessner (1995) estudaram a influência da luz nos

compósitos restauradores em relação às propriedades de contração de polimerização; módulo e força flexural; perfil de dureza Vickers e adaptação marginal. Utilizaram 2 sistemas adesivos e duas resinas compostas, ambos polimerizados por 40s, com duas intensidades luminosas 450 mW/cm^2 e 250 mW/cm^2 . Os autores concluíram que alta intensidade de luz reduziu a qualidade das margens das restaurações; o módulo flexural foi influenciado pela intensidade luminosa. A dureza não foi afetada pela intensidade de luz até uma profundidade de 4,5 mm.

Manga, Charlton e Wakefield (1995) avaliaram *in vitro* o uso de um radiômetro para prever a profundidade de polimerização correlacionando com valores percentuais de dureza Knoop. O valor de 80% de dureza foi usado como padrão para indicar a polimerização satisfatória. Os valores foram correlacionados com as leituras do radiômetro para avaliar a polimerização dos aparelhos. Testes estatísticos mostraram que há 10% de probabilidade de que um aparelho fotopolimerizador com leitura de 300 mW/cm^2 no radiômetro produza resina composta com mais de 80% de percentual de dureza. Os autores concluíram que o radiômetro é um método aceitável para determinar a eficiência de aparelhos fotopolimerizadores para polimerizar resinas compostas. E que o valor de 300 mW/cm^2 no radiômetro talvez seja muito baixo para polimerizar resinas compostas adequadamente.

Santos et al. (2000), avaliaram a eficácia de dois aparelhos fotoativadores tipo pistola (Optilight II – Gnatus e XL 1500 – 3M), de alta intensidade de luz e um a cabo (Fibralux- Dabi Atlante) com baixa intensidade de luz, com tempos de exposição de 20 s e 40 s nas profundidades de 1, 2, 3 e 4 mm, com a resina composta híbrida na cor A2. Por meio do teste de microdureza Knoop, avaliaram o grau de polimerização

a cada 1 mm. Para o aparelho tipo pistola, só houve diferença no tempo de 40 s, o XL 1500 promoveu maior dureza do que o aparelho Optilight II. Os aparelhos a cabo promoveram valores muito baixos de dureza tanto para o tempo de 20 s como para 40 s. A dureza sempre foi maior com 40 s de fotoativação, em uma mesma profundidade, podendo ser comparada com o tempo de 20 s com 1mm a menos de profundidade. Com o tempo de 40 s, a dureza reduziu a partir do terceiro milímetro, e com 20 s a redução foi a partir do segundo. Assim, os autores concluíram que os incrementos de resina composta não devem ter espessura superior a 2 mm, quando se utiliza um tempo de 40 s e 1 mm com o tempo de 20 s.

Leonard et al. (2001) determinaram a irradiação mínima requerida para a fotoativação de um compósito híbrido e um de micropartícula com 2 mm de espessura, utilizando o tempo de 40 s e 60 s e valores de potências de 100 até 700 mW/cm², com aumento a cada 25 mW/cm². Após 24 horas, a dureza Knoop foi medida para cada lado da amostra e foi calculado o percentual de dureza Knoop de topo e fundo. Um valor mínimo de 80% foi usado para indicar uma polimerização satisfatória (a média dos valores do topo dividido pela média dos valores do fundo multiplicado por 100). Os resultados mostraram que uma potência de 300 mW/cm² pareceu adequada para uma apropriada polimerização das resinas híbridas, porém a resina de micropartícula precisou de mais que o dobro de irradiação do que a híbrida para ser considerada fotoativada adequadamente, provavelmente devido às pequenas partículas das resinas de micropartículas que causam dispersão da luz, diminuindo a profundidade, a efetividade, da polimerização. Os autores concluíram que estes resultados indicam que os valores mínimos de irradiação previamente determinados podem ser insuficientes para fotoativação adequada de compósitos resinosos de micropartículas.

Price et al. (2002) compararam a microdureza Knoop de diferentes espessuras de resinas compostas fotoativadas com luz halógena e luz por arco de plasma. Confeccionaram cavidades em discos de esmalte e dentina com espessuras de 2, 3, 4 e 5mm que foram preenchidas com resinas híbridas e irradiadas com aparelho de arco de plasma (densidade de potência acima de 1999 mW/cm^2) e luz halógena (densidades de 588 mW/cm^2 e 844 mW/cm^2). A dureza foi medida na superfície e no fundo imediatamente após a polimerização e depois de armazenadas em água destilada a 37°C por 24 horas e por 7 dias. Tanto a espessura de resina quanto a fonte de luz teve efeito significativo na dureza. A luz halógena com densidade de potência de 844 mW/cm^2 induziu aos maiores valores de microdureza e o arco de plasma aos menores. Para todos os corpos-de-prova com 2 mm de espessura, independentemente da fonte de luz, os valores de dureza do fundo não foram significativamente diferentes dos seus valores no topo com o mesmo tempo. Para os de 3 mm, usando luz halógena com 844 mW/cm^2 , os valores de dureza do fundo das duas resinas não foram diferentes do topo e usando a luz halógena com menor intensidade, os valores do fundo só não foram diferentes para a resina P-60 e somente em 24 horas e 7 dias, mas não quando medidos imediatamente. Para todas as demais espessuras, os valores de dureza no fundo foram menores do que no topo para o mesmo tempo.

Yap, Wong e Siow (2003), ao avaliarem a contração de polimerização e o grau de dureza de resinas compostas fotoativadas com um aparelho de luz halógena de alta intensidade e um convencional, verificaram que o efeito desses aparelhos na fotoativação é dependente do material utilizado e que a fotoativação das resinas com aparelhos de altas intensidades pode ser um método viável clinicamente economizando-se tempo de trabalho.

2.1.2 LED

Dunn e Bush (2002) compararam aparelhos fotoativadores de luz halógena com aparelhos LEDs. Analisando a microdureza Knoop na superfície e na face oposta das amostras de resina verificaram que os valores foram maiores para as resinas fotoativadas com luz halógena quando comparadas as fotoativadas com LED.

Também estudando a eficiência dos aparelhos LEDs, Asmussen e Peutzfeldt (2003) compararam algumas propriedades da resina composta fotoativada por LED com as propriedades da fotoativada pela luz halógena. As resinas estudadas foram a Z-250, Pertac II e a Definite, esta, segundo os fabricantes não possui a canforquinona como principal iniciador. As propriedades investigadas foram o módulo flexural, a profundidade de polimerização removendo a parte não polimerizada depois da irradiação, contração de polimerização e grau de conversão pelo método FTIR (infravermelho). Os resultados mostraram que as propriedades das resinas fotoativadas com LED foram semelhantes ou inferiores quando comparadas com as das resinas irradiadas pela luz halógena. Embora com relação ao módulo flexural e à profundidade de polimerização, as três resinas ativadas por todos aparelhos estudados satisfizeram os requisitos das normas ISO.

Yap et al. (2004) investigaram a influência de diferentes fontes de luz e modos de fotoativação nas densidades de ligações cruzadas das resinas compostas. A

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

Wiggins et al. (2004) avaliaram 4 aparelhos fotoativadores, luz halógena convencional, luz halógena de alta intensidade, um LED da 1ª geração e um LED de alta intensidade por meio da determinação da extensão da polimerização, da adesão e do aumento de temperatura. A intensidade do LED de alta intensidade foi de 1000 mW/cm² comparável ao da luz halógena de alta intensidade no módulo turbo. As médias da ' e adesão obtidas para as resinas fotoativadas pelo LED de alta potência

por 10 s foram equivalentes às obtidas pelos demais aparelhos utilizados por 20 s. A resina composta fotoativada pelo LED de alta potência por 10 segundos mostrou um menor aumento de temperatura do que o de luz halógena de alta intensidade quando utilizados pelo mesmo tempo ou do que pela luz halógena convencional utilizada por 20 s. Concluíram que o aparelho LED de alta intensidade operado por baterias pode ser efetivo reduzindo o tempo de fotoativação pela metade.

Bala, Ölez e Kalaygi (2005) compararam a efetividade de dois aparelhos fotoativadores por meio do grau de conversão infravermelho. Foram utilizadas amostras de diferentes resinas compostas (duas híbridas, quatro condensáveis e uma com base cerâmica) e depois fotoativadas por 40 s com um aparelho de luz halógena (Hilux Ultra Plus) e um LED (Elipar Freelight). Com exceção da Surefil e da Z-250 que não mostraram diferença significativa entre ser fotoativada com o LED ou com a luz halógena, para as outras resinas, o LED teve um desempenho superior. Com isso, os autores concluíram que o LED utilizado tem energia suficiente para polimerizar até 2 mm com um tempo de 40 s sendo superior ao aparelho de luz halógena.

Nakfoor et al. (2005), comparando seis tipos de aparelhos LEDs com uma de luz halógena convencional, não encontraram diferença na contração de polimerização de resinas microhíbridas fotoativadas tanto com LED como com luz halógena. Porém a resina híbrida mostrou menor contração quando fotoativada com a luz halógena. Todos os aparelhos LEDs estudados mostraram valores de dureza Knoop menores do que os obtidos com luz halógena tanto na superfície como na face oposta das amostras de resina.

Recentemente têm sido comercializada uma segunda geração de aparelhos fotoativadores LEDs, que segundo os fabricantes são capazes de polimerizar a

resina composta na metade do tempo do que os aparelhos antecessores. Shortall (2005), ao estudar a extensão da profundidade de polimerização (por meio da utilização de um penetrômetro digital) de uma mesma resina composta, mas de cores diferentes, mostrou que o aparelho LED de segunda geração (Freelight 2- 3M) utilizado por 20 s obteve profundidades de polimerização semelhantes às obtidas pelos aparelhos LED de primeira geração (Freelight-3M) e pelo aparelho de luz halógena (XL 3000-3M), ambos utilizados por 40 s. Com isso, confirmou que esses aparelhos LEDs de segunda geração podem ser utilizados pela metade do tempo quando comparados com os aparelhos que o antecederam.

2.1.3 Laser de íon argônio

Kelsey^{3rd} et al. (1989) constataram um melhoramento das propriedades mecânicas da resina composta pela ativação com laser de argônio em relação à luz halógena. Salientaram que, devido ao seu comprimento de onda, tem sua principal indicação na ativação de resinas compostas, havendo o máximo de aproveitamento da energia luminosa emitida. As propriedades estudadas foram: resistência à compressão, resistência à tração diametral, resistência flexural e módulo de elasticidade da resina de micropartículas. Todas as propriedades mostraram-se com melhores resultados em relação à luz halógena, além de os autores ressaltarem que todo o processo de ativação foi executado em um quarto do tempo gasto com a ativação feita com luz halógena. Foi utilizado um aparelho de laser com 7 W de potência e não foi especificada a intensidade.

Kutsch (1993) estudou as propriedades dos lasers, as interações *laser/tecido* e o perfil de três dos *lasers* mais usados em Odontologia: CO₂, Nd:YAG e Argônio. O laser de argônio possui dois comprimentos de onda principais, 488 e 514,5 nm (luzes azul e verde). Ele é altamente absorvido pela hemoglobina e pela melanina e pouco absorvível pela água, e como no Nd:YAG a condução do feixe de luz é feita por fibra óptica. Na Odontologia, estudos estão sendo feitos com o laser de argônio, utilizando-o como fotoativador de materiais compostos fotoativados e como fonte de luz para detecção de cáries interproximais.

Todos os tipos de lasers têm sua própria região no espectro eletromagnético, o que ajuda a diferenciá-los. Os lasers de CO₂ e Nd:YAG estão na região do espectro infra-vermelho e são invisíveis. O laser de argônio está no espectro visível e, portanto pode ser visto a olho nu, ele está na faixa azul e verde do espectro, operando com 488 ou 514,5 nm, e são conduzidos através de uma fibra óptica. Ainda, pela sua posição no espectro eletromagnético, os lasers causam apenas injúrias térmicas quando entram em contato com os tecidos biológicos. Não há mudanças na estrutura atômica dentro das células e, portanto, não há mutação genética. O mesmo não ocorre com outras formas de energia como a luz ultravioleta e os raios X (PICK, 1993).

Powell, Morton e Whisenant (1993) avaliaram o dano promovido pelo laser ao esmalte, as mudanças na temperatura pulpar e as lesões pulpares associadas a irradiação com laser. Variaram a energia de 1,6 a 6 W, com feixe de 1 a 2 mm de diâmetro por 0,2 a 5 segundos. Para avaliar os danos pulpares, foram irradiados dentes de cão *in vivo*, extraídos 7 dias após a irradiação. Os testes de temperatura foram feitos com dentes extraídos de cães e de humanos. O dano ao esmalte foi avaliado visualmente no microscópio, mostrando que, com energia menor que

600J/cm² não houve alteração pulpar, entre 600 e 800J/cm² houve danos, mas reversíveis. Com energia maior que 800J/cm² houve necrose pulpar. A temperatura aumentou proporcionalmente com o aumento da energia, porém não chegando a 3 °C, e nenhum dano ao esmalte foi observado. Com altas densidades de energia, os danos à polpa aparecem antes de alguma modificação aparecer na superfície do esmalte. Assim, os autores concluíram que, como de acordo com a literatura, as potências necessárias para os usos propostos em Odontologia, como polimerização de resina, não ultrapassam a 1W, não existe inconvenientes para o seu uso.

Docktor (1994), pesquisou a utilização do laser de argônio e suas propriedades em procedimentos estéticos. Segundo o autor, o laser de argônio é capaz de induzir a polimerização, pois emite comprimentos de onda ideais para reagir com a canforquinona. E também segundo o autor, o laser de argônio permite que se usem incrementos de espessuras maiores de resina polimerizada com apenas ¼ do tempo do que quando polimerizadas com a luz convencional (halógena) e com melhores propriedades físicas. Com isso, o benefício clínico da redução do tempo de exposição é importante, principalmente nos casos onde o controle da umidade é crítico e difícil de obter. Com a exposição de apenas 4 segundos e 1W de potência de exposição, o tempo de trabalho chega a ser reduzido em 87%. E apesar das altas intensidades, se usado corretamente não causa dano à polpa e ao esmalte dental.

A comparação da fotoativação entre a luz convencional e o laser de argônio também foi estudada por Wakinine e Cipolla (1995). Para isso, analisaram a dureza em profundidade e a resistência à tração. As fontes de luz foram: laser de argônio com intensidade de 1000 mW/cm² e tempos de 5 s, 10 s e 15 s e luz halógena, com intensidade de 1000 mW/cm² e 675 mW/cm² com tempos de exposição de 10 s, 20 s

e 40 s. Concluíram que o laser de argônio mostrou significativamente maior profundidade de polimerização por segundo e maior resistência à tração em comparação com a luz halógena, com melhor eficiência de polimerização em menos tempo de exposição. A melhor distância para proporcionar os melhores resultados foi de 4 mm em 5 s para o laser comparado a 1 mm em 40 s para a luz halógena.

Cobb, Vargas e Rundle (1996) avaliaram a tensão diametral, a resistência à compressão e a resistência flexural de uma resina composta híbrida e uma microparticulada ativadas com laser de argônio (potência de 285 mW e diâmetro da ponta de 6 mm resultando em uma intensidade de 1000 mW/cm^2) com tempos de exposição de 10 s e 20 s e compararam com a ativação com luz halógena (potência de 470 mW e diâmetro de 13 mm, resultando em intensidade de 354 mW/cm^2) por 40 s. Os resultados mostraram que a resina híbrida não apresentou alteração nas propriedades quando fotoativada com uma radiação de energia de 10 J/cm^2 (1000 mW/cm^2 por 10 s) com laser ou com 15 J/cm^2 (376 mW/cm^2 por 40 s) com a luz halógena e a microparticulada teve diminuição da resistência flexural e na resistência à compressão quando ativada por 10 s pelo laser de argônio.

Brenneise e Blankenau (1997) determinaram os efeitos no tecido gengival paraqueratinizado adjacente às restaurações feitas com o laser, em dentes de cães, na potência recomendada (231 mW) e com três diferentes tempos de exposição (10, 20 e 30 segundos). Os grupos controle foram restaurações fotoativadas com a luz visível convencional por 40 s e dentes não restaurados. Os tecidos foram examinados com 24 horas, para avaliar as reações iniciais, com 72 horas para determinar as reações intermediárias e com 5 dias para determinar o dano permanente. Os tecidos expostos a 10 s mostraram pequenas mudanças, que foram mais evidentes com 72 horas tendo voltado ao normal depois de 5 dias. Com 20 s de

exposição, as alterações foram evidentes durante todo o período estudado. Com 30 s, apareceram necrose, ruptura do tecido conjuntivo e células inflamatórias, sendo que não desapareceram após 5 dias. No grupo controle, não houve alteração significativa nos tecidos moles. Os autores concluíram que clinicamente deve-se evitar a exposição de tecidos moles ao laser de argônio e utilizá-lo apenas por 10 s para não causar danos irreversíveis ao tecido.

Aw e Nicholls (1997) estudaram o valor linear da contração de polimerização em resinas híbridas em que foram utilizados o laser e a luz convencional. Os parâmetros do laser foram 300 mW com diâmetro de 5 mm, e para a luz halógena 600 mW com diâmetro de 11 mm. Os resultados mostraram não haver diferenças significantes entre as duas fontes de ativação.

Vargas, Cobb e Schmit (1998) compararam a fotoativação de resinas compostas utilizando luz halógena (potência de 470 mW, intensidade de 354 mW/cm²) e o laser de argônio (potência de 265 mW e intensidade de 937 mW/cm²). Foram usadas a resina de micropartícula Silux Plus (3M) e a híbrida Prisma TPH (Caulk). Para cada grupo, foram feitas cinco amostras e ativadas com a luz visível por 40 s e com o laser por 10 s, 20 s e 30 s, e feitas medidas de dureza Knoop nas profundidades 0 (superfície), 1, 2, 3 e 4 mm. Valores significativamente maiores foram encontrados na resina híbrida em comparação à de micropartícula em profundidades equivalentes, com as duas diferentes fontes de luz e diferentes tempos de exposição equivalentes. Não houve diferença significativa entre os valores de dureza a 0 mm (superfície), independentemente da fonte de luz e do tempo de exposição para as duas resinas. Para ambas as resinas, não houve diferença significativa entre as profundidades de 0, 1 e 2 mm, entre as duas fontes de luz e os diferentes tempos de exposição. Para a resina de micropartícula, foi

conseguido um valor de dureza equivalente tanto com 40 s de exposição com luz convencional como com 30 s com o laser de argônio em todas as profundidades e não houve diferença entre as fontes nas profundidades 1, 2 e 3 mm. Para todas as fontes, a dureza em 4 mm foi menor que as outras profundidades e, com laser a 10 s, não houve polimerização. A luz halógena promoveu durezas semelhantes nas profundidades de 0, 1, 2 e 3 mm, que foram maiores que 4 mm. Para a resina híbrida, não foi encontrada diferença entre as durezas entre as fontes luz halógena com 40 s e laser com 20 e 30 s, nas profundidades de 0, 1, 2 e 3 mm. O laser com 10 s foi menor que as outras fontes nas profundidades de 2 mm ou mais. Não houve diferença entre as fontes nas profundidades de 0 e 1 mm. Um valor de dureza equivalente àquele conseguido por 40 s de luz convencional foi conseguido com apenas 20 s de exposição com laser, representando uma economia de 30-50% de tempo requerido para ativar resinas a uma profundidade de 2 mm. Assim, esses resultados sugerem que a capacidade de polimerização para resinas compostas entre a luz convencional e o laser de argônio é comparável.

Fleming e Maillet (1999) estudaram as vantagens e desvantagens e as diferentes opiniões na literatura sobre a fotoativação com laser comparada com a fotoativação com luz convencional. Concluíram que, com o laser de argônio, o grau de conversão é maior, bem como o poder de penetração, promovendo assim, ativação em espessuras maiores e melhorando algumas propriedades, em relação à luz halógena. Além disso, o laser requer 1/4 do tempo de fotoativação em relação aos aparelhos de luz halógena. Outra vantagem mostrada pelos autores é o fato de o feixe de laser não perder potência quando não se pode conseguir uma aproximação muito grande da restauração. No entanto, advertem para algumas desvantagens como o aumento da microinfiltração e da contração de polimerização

provocadas pela rápida polimerização conseguida com o laser, e para o fato de que, se usado por muito tempo e ininterruptamente, pode causar danos pulpares.

Rueggeberg, Ergle e Mehenburg (2000) investigaram a profundidade de polimerização de uma resina composta híbrida usando luz halógena convencional (padrão), luz halógena com programa “soft start” e com alta intensidade, aparelho de arco de plasma e laser de argônio com 250 mW de potência. Os valores de dureza Knoop obtidos com cada unidade foram comparados com o controle que foi a luz halógena convencional por 40 s. A profundidade de polimerização foi definida como a maior profundidade onde os valores foram equivalentes a 0,5 mm para cada unidade fotopolimerizadora. As unidades de luz halógena convencionais promoveram similares perfis de dureza a 2 mm de profundidade. Independentemente do uso de uma unidade diferente ou de ponta fotoativadora diferente foi semelhante ao modelo convencional. Os programas de “soft start”, bem como as unidades de luz halógena com alta intensidade por 10 s promoveram valores de dureza, em 2mm de profundidade, semelhantes ao padrão por 40 s. A exposição com arco de plasma por 10 s também promoveram dureza semelhante à luz halógena convencional até 2 mm de profundidade. O laser de argônio, por 5 s e 10 s, em 2 mm de profundidade, mostrou dureza semelhante ao padrão. Com 3mm de profundidade apenas o laser de argônio por 20 s mostrou valores de dureza semelhantes à luz halógena convencional. A profundidade de polimerização na maioria das unidades não foi maior de 2 mm. Os autores concluíram que fontes de luz halógena com diferentes diâmetros de ponta fotoativadora (8 e 12 mm) promoveram características similares de polimerização. Ao utilizar as unidades de luz halógena com alta intensidade e o laser de argônio, pode-se reduzir o tempo de exposição para se promover dureza semelhante à luz convencional. E levando em

consideração inclusive as unidades de alta intensidade, os incrementos não devem ser maiores de 2 mm para promover uma dureza homogênea.

Santos (2002) avaliou a extensão da polimerização superficial da resina composta microparticulada A-110 e da híbrida Z-250 em relação à distância do centro da aplicação da luz do aparelho fotoativador. Foram confeccionados corpos-de-prova com 3 mm de espessura utilizando a luz halógena por 40s e o laser de argônio nos tempos de 10 s, 20 s e 30 s. O autor concluiu que a dureza diminuiu conforme aumentou a distância do centro de polimerização e que os melhores resultados de polimerização foram encontrados com a utilização da luz halógena por 40s e do laser de argônio por 30 s.

St-Georges et al. (2002) avaliaram a resistência de resinas compostas fotoativadas por aparelhos de luz halógena convencional, “soft-start”, laser de argônio e arco de plasma, em amostras de 3 mm de espessura. Para as resinas híbridas e fluídas, o menor desgaste foi obtido naquelas ativadas pela luz halógena convencional com a técnica contínua. E para ambas as resinas, o laser de argônio mostrou o maior desgaste comparado com as outras fontes estudadas.

Burgess et al. (2002) descreveram os aparelhos de laser de argônio como sendo unidades fotoativadoras que usam luz amplificada por estimulação de emissão de radiação e servem para ativar a resina composta. Os aparelhos produzem energia pela excitação do íon na câmara de ressonância preenchida por argônio. A luz produzida é focada por uma lente e transmitida através de uma peça de mão. Esses aparelhos emitem específica banda de luz em 454 nm a 466 nm, 472 nm a 497 nm e 514 nm. Devido a essas unidades gerarem pouca luz infravermelha, pouco calor é produzido. Esse laser tem significantes desvantagens:

tem estreito espectro de saída, é caro e ineficiente e ocupa muito espaço no consultório, não sendo assim popular.

Belan (2004) avaliou a microdureza de uma resina composta híbrida fotoativada com luz halógena e laser de argônio utilizando a técnica convencional contínua e a alternativa em pulso-espera por meio dos métodos de inserção incremental (incrementos de 1 mm) e em camada única. Os corpos-de-prova tinham 2 ou 4 mm de espessura. A microdureza Vickers foi aferida na superfície do corpo-de-prova oposta à superfície irradiada, com o objetivo de avaliar a polimerização em profundidade. Os resultados mostraram que, para a fonte de luz halógena, na espessura de 2 mm, todas as técnicas de inserção/fotoativação (camada única, incremental convencional e incremental em pulso-espera) apresentaram polimerização adequada. Porém, na espessura de 4 mm, apenas a técnica de inserção incremental convencional apresentou polimerização satisfatória. A irradiação com laser de argônio, na técnica incremental em pulso-espera, não promoveu uma polimerização adequada, em nenhuma possibilidade testada.

Turbino (2004) avaliou a profundidade de polimerização da resina composta (híbrida e microparticulada) por meio de testes de microdureza Vickers. O aparelho de luz halógena foi utilizado na sua intensidade convencional (500mW/cm^2) e o laser de argônio, nas potências de 200 e 250 mW. Os tempos de fotoativação foram de 40 s para a luz halógena e 10 s, 20 s e 30 s para o laser. A resina foi inserida em porção única, em matrizes de polipropileno pretas com as espessuras de 1 a 4 mm. Os corpos-de-prova foram armazenados por uma semana a seco, a 37°C em recipientes protegidos da luz. A microdureza foi medida com carga de 50gf e tempo de 45 segundos na superfície oposta à irradiada e comparada com a superfície irradiada. Os resultados obtidos permitiram concluir que: o laser de argônio, para

fotoativação da resina composta híbrida, mostrou-se semelhante à luz halógena apenas para a espessura de 1 mm. Nas demais espessuras, a luz halógena apresentou maior grau de polimerização. A resina composta microparticulada polimerizou satisfatoriamente apenas na espessura de 1 mm, sendo este resultado obtido tanto com a luz halógena quanto com o laser de argônio. O laser de argônio permitiu polimerização adequada apenas quando utilizado na potência de 250 mW e com tempo de 30 s.

Rode, Lloret e Turbino (2005) avaliaram a polimerização de duas resinas compostas (Z-250, híbrida e A-110, microparticulada) utilizando luz halógena (Degulux-Degussa) e o laser de argônio (AccuCure 3000-LaserMed), por meio da microdureza Vickers nos três primeiros milímetros de profundidade. As resinas foram ativadas em três incrementos de 1mm cada ou em uma única camada de 3 mm, para formar os corpos-de-prova. A ativação com laser de argônio foi feita por 10 s, 20 s e 30 s, com potência de 150 mW para a resina Z-250 e 200 mW para a A-110. Com a luz halógena, a ativação foi realizada por 40s na resina A-110 e 20 s ou 40s na Z-250, com uma intensidade de 550 mW/cm^2 para ambas as resinas. A microdureza foi aferida no primeiro, segundo e terceiro milímetros, por meio do microdurômetro (HMV 2000-Shimadzu) com carga de 50 gf por 45 s. Verificou-se que, em relação à microdureza em profundidade para a resina Z-250, o laser de argônio por 30 s e a luz halógena por 40 s ofereceram os melhores resultados, seguidos do laser e da luz halógena utilizados por 20 s e, por último, com menor microdureza, o laser de argônio por 10 s. Para a resina A110, a luz halógena por 40 s foi superior ao laser de argônio por 30 s, seguidos pelo laser por 20 s e depois pelo laser por 10 s. Foi observado também que a microdureza diminuiu com o aumento da profundidade para ambas as resinas compostas, independentemente da fonte de

luz e do tempo utilizados. Avaliando-se a qualidade da polimerização, a Z-250 atingiu um grau satisfatório no primeiro e no segundo milímetro com luz halógena por 20 s ou 40 s e apenas no primeiro milímetro com laser de argônio por 30 s. A resina A-110 atingiu grau satisfatório de polimerização apenas no primeiro milímetro e somente com luz halógena por 40 s.

Naufel, Youssef e Turbino (2005) verificaram a profundidade de polimerização de uma resina composta, por meio da microdureza Vickers, em função de diferentes tempos (10 s, 20 s e 30 s) de fotoativação do laser de argônio com intensidade de 600 e 250 mW/cm². No grupo controle, a resina foi polimerizada por 40 s com uma luz visível. As medidas de dureza foram feitas de 0,5 a 4,5 mm de profundidade a cada 1 mm. Os resultados mostraram que, para o laser de argônio, a intensidade de 600 mW/cm² foi superior a de 250 mW/cm², e que por 30 s com intensidade de 600 mW/cm² obtiveram os melhores resultados e os piores com 250mW/cm² por 10 s. Os autores concluíram que maiores profundidades resultaram em menor dureza, e que a polimerização por 40 s com a luz visível foi semelhante ao laser de argônio por 10 s e 20 s com 600 mW/cm² e 20 s e 30 s com 250 mW/cm².

2.1.4 Efeito do distanciamento da fonte de luz.

Kanca^{3rd} (1985), avaliou o efeito do aumento do tempo de exposição (20 e 40 s) e da distância entre a fonte luminosa (luz halógena) e a resina composta para dentes posteriores (em contato e 4 mm) sobre a dureza superficial e a uniformidade de polimerização. As leituras de dureza Barcol foram feitas na superfície e no fundo

das amostras. A dureza na superfície variou pouco em relação ao tempo de exposição e à distância da fonte luminosa. A superfície de fundo exibiu uma variação maior. O autor citou que uma menor variação de dureza indica uma maior uniformidade de polimerização, e concluiu que a diferença entre a dureza superficial e a do fundo diminui com o aumento do tempo de exposição e aumenta com o aumento da distância entre a fonte de luz e a resina.

Pires et al. (1993), examinaram o efeito da intensidade luminosa de um aparelho fotopolimerizador de luz halógena (obtida por radiômetros diferentes) e da distância entre a ponta fotoativadora e a resina composta (0, 2, 6 e 12 mm) na fotoativação da resina (indicada pela microdureza). Os resultados evidenciaram que a dureza na face inferior é substancialmente menor que a dureza da face superior e diminui conforme a ponta se distancia, isto é, a profundidade de polimerização é reduzida com o aumento da distância da ponta. Mostraram também que correlação entre a dureza na face superior e a intensidade de luz foi relativamente marcante para todos os radiômetros. Com o aumento da distância das pontas, as leituras diminuíram e a diferença na dureza entre as faces superiores e as inferiores foi estatisticamente significativa em todas as distâncias. Assim, os autores concluíram que, para garantir uma profundidade adequada de polimerização, os tempos de fotoativação recomendados pelos fabricantes devem ser aumentados sempre que a intensidade luminosa esteja reduzida pela distância da ponta fotoativadora ou por qualquer outro fator.

Rueggeberg e Jordan (1993) estudaram a intensidade de luz na superfície da resina composta, e a 2 mm de profundidade, distanciando a ponta fotoativadora (luz halógena) de 0 a 10 mm, com tempos de exposições diferentes (10 s, 20 s, 40 s e 60 s). Na superfície, ou seja, medindo diretamente da ponta, a intensidade da luz na

distância da ponta de 10 mm foi apenas 77% da intensidade a 0 mm; a 2 mm de profundidade, a intensidade com 10 mm de distância foi 65%. Há uma queda de 98,5% na intensidade entre a obtida na superfície da resina e a 2 mm de profundidade. Ao utilizar espessuras de 2 mm de resina, há diferença na conversão (FTIR) entre a distância de 0 mm e distâncias maiores que 4 mm. Se o tempo de exposição for aumentado para 60 s, essa diferença só ocorre acima de 6 mm de distância. Portanto a distância da ponta fotoativadora não deve exceder 4 a 5 mm, e para se obter a melhor conversão possível deve-se utilizar o tempo mínimo de 40 s de exposição.

Hansen e Asmussen (1997) avaliaram a microdureza Vickers da resina composta 0,5mm abaixo da superfície irradiada e a 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, e assim por diante, enquanto fosse possível realizar a medida da dureza. Foram utilizadas as distâncias de 0, 2, 4, 6, 9, 12, 18 e 30 mm da ponta do aparelho fotoativador (luz halógena). Encontraram que, a profundidade de polimerização, diminuiu com o aumento da distância da ponta irradiadora em relação à superfície do material. Os resultados mostraram que não houve diferença estatística nos valores de microdureza com o aumento da distância da ponta em profundidades menores que 3 mm. Concluíram que a profundidade de polimerização diminui de forma moderada de uma maneira linear com o aumento da distância da ponta irradiadora em relação à superfície da resina. Analisando em relação à porcentagem máxima em 0 de distância, obtiveram até 80% do valor (ou uma redução de 20%) em 3 a 3,5mm de espessura, com 6 mm de distância obtiveram 20% de redução até 2,5-3 mm e com 12 mm de distância a redução de 20% ocorreu em 2 a 2,5 mm de espessura. Afirmaram que estes achados implicam em que as restaurações de resina composta em cavidades proximais profundas podem polimerizar de forma adequada,

principalmente se um protocolo for utilizado, estabelecendo a utilização de uma unidade fotoativadora eficiente, incrementos de resina em camadas finas e, se necessário, o aumento do tempo de irradiação.

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

Abate, Zahra e Macchi (2001) procuraram caracterizar a relação entre energia luminosa total e a dureza final de quatro resinas compostas fotoativadas sob várias condições com luz halógena. Foram confeccionados discos de duas resinas híbridas, uma microparticulada, e uma fluída (todas na cor A3) ativadas com as energias luminosas de $22,6 \text{ J/cm}^2$, $15,7 \text{ J/cm}^2$, $9,0 \text{ J/cm}^2$ ou $6,7 \text{ J/cm}^2$. Ainda foram

utilizadas variáveis como distância da ponta fotoativadora à superfície do material (0, 5, 10 e 15 mm) e tempo de ativação (40 s, 28 s, 16 s e 12s). A dureza Barcol foi avaliada na superfície irradiada do corpo-de-prova. Não foram encontradas diferenças significantes para a dureza na superfície quando foi variada a distância da ponta fotoativadora ou o tempo de fotoativação, mas sim entre os materiais e as densidades de energia utilizadas. Concluíram que a dureza da superfície dos materiais foi relacionada com a energia luminosa total utilizada para a ativação.

Rode et al. (2001) compararam *in vitro* a microdureza da resina Z-250(3M) polimerizada com laser de argônio (150 mW) por 10 s, utilizando duas distâncias entre fonte de luz e a superfície da amostra (0,5 e 6 mm). A resina foi inserida em 3 incrementos de 1 mm cada e um único incremento de 3 mm em uma matriz preta de polipropileno e depois levada ao microdurômetro. Nos grupos de incremento único, os valores de microdureza foram menores do que os de 3 incrementos. Houve uma diminuição da microdureza conforme aumentava a profundidade. E não houve diferença estatisticamente significante entre as duas distâncias utilizadas.

Lloret et al. (2001) estudaram a influência da distância entre a fonte de luz do laser de argônio e a superfície da resina composta, por meio da resistência de adesão à dentina. A resina Z-250 da 3M foi inserida em uma matriz preta de polipropileno em um incremento único de 3 mm e com 3 incrementos de 1 mm cada, e foi polimerizada com o laser de argônio AccuCure 3000 da LaserMed com as distâncias de 0,5 e 6 mm entre o corpo-de-prova e a fonte de luz, por 10 s, 20 s e 30 s com uma potência de 150 mW. Não houve diferença entre as duas distâncias, porém os autores encontraram valores maiores de resistência adesiva nos grupos de 3 incrementos em relação ao incremento único. Os resultados para grupos de 20 s e 30 s foram melhores do que para o grupo de 10 s.

Meyer, Ernst e Willershausen (2002) determinaram a porcentagem, de diminuição, da potência de diferentes aparelhos LEDs e de luz halógena em diferentes distâncias entre a ponta fotoativadora (de 0 a 20 mm a cada 1 mm) e o radiômetro em comparação com a potência desses aparelhos na distância zero. A diminuição da potência mais significativa foi a 10 mm, sendo que embora os aparelhos LEDs tenham mostrado comportamento semelhante aos de luz halógena na distância zero, eles mostraram uma maior diminuição em porcentagem na potência com a distância de 10 mm da ponta, quando comparados com os de luz halógena.

Rissi e Cabral (2002) recomendaram a atenção dos profissionais quanto ao controle clínico e ao uso da técnica incremental, assim como monitoração da quantidade de energia luminosa empregada no processo de fotoativação por um aparelho de luz halógena. Avaliaram a perda de energia luminosa durante a sua propagação através do incremento de resina composta em espessuras de 2, 4 e 6 mm e nas cores A2, B3 e C4 de uma resina micro-híbrida ativada por 20 s com fotoativador de luz halógena. A perda da intensidade de luz foi medida com auxílio de um radiômetro. Obtiveram resultados que mostraram que a perda de intensidade de luz devido à propagação através da resina composta variou em função da espessura do corpo-de-prova e da cor da resina. Em regra geral, quanto mais espesso o corpo-de-prova e mais saturada a cor, menor a quantidade de luz capaz de atravessar a resina composta. A redução de intensidade, em relação ao valor obtido no radiômetro diretamente da ponta irradiadora, variou de 89,03% (cor A2, com 2 mm de espessura) a 99,03% (cor C4, com 6 mm de espessura). E quanto maior a distância da fonte de luz, menor a quantidade de energia luminosa que atinge a superfície do material: para 2 mm de afastamento 86,53%, para 4 mm 75%

e para 6 mm 59,61%. O que mostra um efeito significativo das distâncias das fontes de luz testadas, ou seja, houve redução crescente e significativa da intensidade de luz em função do aumento da distância de luz.

Leloup et al. (2002) determinaram a profundidade de polimerização da resina composta em relação a diferentes parâmetros (espessura das amostras, cor e translucidez da resina, diferentes aparelhos fotoativadores de luz halógena e distância da ponta fotoativadora) clinicamente relevantes. Para isso foi utilizado o método de espectroscopia Raman. A medida de ativação foi obtida pela comparação da banda vibracional das ligações C=C do resíduo metacrilato não polimerizado a 1640 cm^{-1} com a banda C=C aromática a 1610 cm^{-1} usado como padrão interno. Os resultados mostraram a importância da transmissão de luz durante a fotoativação e a influência da espessura da amostra na profundidade de polimerização. A cor e a translucidez da resina também podem modificar a transmissão da luz e conseqüentemente influenciar o grau de conversão. A intensidade de luz e a distância da ponta fotoativadora também são importantes parâmetros que influenciaram a ativação. Uma significativa redução na profundidade de polimerização foi observada para todas as espessuras da resina composta quando foi utilizada uma fonte de luz com intensidade de 300 mW/cm^2 , como também usando distância da ponta fotoativadora maior que 20 mm. Não foi observado efeito do aumento da distância da ponta fotoativadora, até 10 mm, em amostras com espessuras menores que 2,5 mm, porém acima de 3 mm de espessura observou-se uma redução no grau de conversão com o aumento da distância.

Ramos, Garone Netto e Burger (2003) mostraram que a microdureza superficial da resina composta diminuiu com a variação da distância da ponta fotoativadora (0, 2, 4, 5 e 10 mm), isto é, houve um decréscimo da microdureza

quanto maior a distância entre a resina e a ponta emissora de luz, independentemente do aparelho utilizado (halógeno e LED). E o desempenho dos aparelhos de luz halógena foi superior ao dos LEDs.

Caldas et al. (2003) avaliaram a influência da distância da ponta fotoativadora na polimerização de resina composta por meio da microdureza Knoop em profundidade. Foram utilizados três aparelhos: um de luz halógena (XL 1500 da 3M), um aparelho com “soft start” (Elipar Trilight da 3M no modo exponencial) e um arco de plasma (Apolo 95E). A resina (Filtek Z-250 da 3M) foi fotoativada por esses aparelhos com distâncias de 0, 6 e 12 mm da superfície das amostras de 2,5 mm de espessura. Para o aparelho Elipar Trilight, a dureza diminuiu com o aumento da distância da ponta, mas não houve diferença em profundidade. Já com o XL 1500 houve uma grande diminuição na dureza conforme aumentou a profundidade, mas não houve diferença com o aumento da distância da ponta e com o Apolo 95E houve uma diminuição na dureza tanto com o aumento da profundidade como com o aumento da distância da ponta.

Price, Felix e Andreou (2004) determinaram o efeito de duas distâncias de irradiação de três tipos de aparelhos fotoativadores, de luz halógena, em cinco resinas compostas. As resinas com 1,6 mm de espessura foram fotoativadas com aparelhos de mesma distribuição espectral, mas com intensidades e tempos diferentes nas distâncias de 2 e 9 mm da ponta fotoativadora. A dureza Knoop foi medida no topo e na base de cada amostra 15 minutos após a irradiação e 24 horas depois de armazenadas em água. Os resultados mostraram que houve um aumento na microdureza entre 15 minutos e 24 horas, porém não o suficiente para compensar uma fotoativação insuficiente, e também que ocorre uma redução exponencial da luz conforme aumenta a espessura da resina, ou seja, os aparelhos fotoativadores

devem aumentar exponencialmente a intensidade na superfície da resina para conseguir polimerizar o fundo da resina. Os valores de microdureza também sofreram influência com a distância da ponta dos aparelhos e com a combinação entre intensidade e tempo da luz irradiada. Para se conseguir valores de dureza semelhantes usando aparelhos com intensidades diferentes, mas com espectros similares, o tempo de fotoativação deve ser ajustado para obter doses de energia semelhantes.

Bennett e Watts (2004) compararam a *performance* de aparelhos de fotoativação LED com um aparelho de luz halógena, por meio da avaliação da extensão da profundidade de polimerização variando o tempo de fotoativação e a distância da ponta. A extensão da profundidade de polimerização foi influenciada pelo aumento da distância da ponta. Os melhores valores foram obtidos quando a ponta estava o mais próximo da resina, isto é, a 0 mm de distância. Enquanto o aumento do tempo de fotoativação de 10 s para 20 s e de 20 s para 40 s ocorreu um acréscimo significativo na profundidade de polimerização.

Fróes (2005) avaliou o grau de conversão e o padrão de microinfiltração de uma resina composta variando a intensidade de luz, o tempo e a distância da fonte-compósito (0, 3 e 7 mm). Foram utilizadas as intensidades de 600 mW/cm² por 40 s, 400 mW/cm² por 60 s e 200 mW/cm² por 20 s + 500 mW/cm² por 40 s. A densidade de energia para todos os grupos foi então de 24J/cm². As amostras de 2mm de altura foram analisadas em um espectrômetro FT-Raman para o cálculo da quantidade de duplas ligações remanescentes do material tanto na face irradiada como na não irradiada. A razão entre duplas ligações aromáticas e alifáticas foi utilizada para estimar o grau de conversão. As médias (%) em grau de conversão foram 58,29 (para 600 mW/cm²), 57,99 (400 mW/cm²) e 58,32 (para 200 mW/cm² +

500 mW/cm²). Para as distâncias de 0, 3 e 7 mm foram respectivamente: 59,13; 58,61 e 56,85. As faces irradiadas mostraram grau de conversão médio de 59,01, enquanto a não irradiada de 57,40. Assim, com o aumento da distância da fonte de luz houve uma diminuição do grau de conversão apenas quando foi utilizada a intensidade de 600 mW/cm². A distância também influenciou na microinfiltração utilizando a intensidade de 600 mW/cm² comparando-se as distâncias de 0 mm com 3 e 7 mm e utilizando as intensidades de 200 + 500 mW/cm² nas distâncias de 0 e 3 mm com 7 mm. Não houve correlação entre o grau de conversão e a microinfiltração, bem como não houve influência da energia sobre esses testes. Porém a forma de fornecer essa energia correlacionou-se bem com o grau de conversão.

Aguiar et al. (2005) avaliaram a influência da cor do compósito (A1, A3,5 e C2) e da distância da ponta fotoativadora (2, 4 e 8 mm) na microdureza superficial de uma resina composta híbrida (Z-250 da 3M). Depois de fotoativadas com um aparelho de luz halógena (550 mW/cm²), as amostras foram armazenadas por 24 horas antes de realizar as medidas de dureza Knoop na superfície e na face oposta da resina. Os resultados mostraram que, para a superfície da face oposta, os grupos que foram fotoativados com as distâncias de 2 e 4 mm apresentaram maiores médias do que o grupo fotoativado com 8 mm de distância. E os grupos de cor A1 apresentaram as maiores médias, sendo que não houve diferença entre os grupos da cor A3,5 e C2. Na superfície do topo, não houve diferença nas médias de dureza entre os fatores estudados, porém foram maiores do que as médias obtidas na superfície da face oposta.

Aravamudhan, Rakowski e Fan (2006) determinaram a correlação entre a intensidade de aparelhos LEDs (Flashlite 1001, Freelight 2, Samartlite IQ e Ultralume

5) e de luz halógena (Optilux 501, pontas de 8 e 11 mm) e a profundidade de polimerização (método de desgaste) em diferentes distâncias (0, 2, 4, 6, 8 e 10 mm). Para todos os aparelhos, a intensidade diminuiu com o aumento da distância. Os autores mostraram uma correlação logarítmica entre a intensidade de distância para todos os aparelhos exceto para o SmartlifelQ, Ultralume 5 e Optilux com a ponta de 11 mm, que mostraram uma correlação linear. Todos os aparelhos mostraram uma correlação logarítmica entre a intensidade e a profundidade de polimerização e uma redução linear entre a profundidade de polimerização e a distância da ponta. Mesmo em distâncias maiores que 10 mm, a redução da profundidade de polimerização foi menor que 1mm. Portanto, tanto a intensidade da luz como a profundidade de polimerização diminui com o aumento da distância da ponta fotoativadora. Enquanto a profundidade de polimerização diminui com a diminuição da intensidade da luz, a taxa de declínio varia entre os vários tipos de aparelhos, sendo linear para alguns e logarítmico para outros. A relação entre intensidade e profundidade de polimerização com a distância da ponta depende das características individuais de cada luz.

Lindberg, Emani e Dijken (2005) compararam o grau de conversão, por meio da espectroscopia Raman, de uma resina híbrida fotoativada com aparelhos LEDs de baixa e alta potência e com um de luz halógena (510 mw/cm^2) em 3 espessuras de resina (0,2 e 4 mm) e com duas distâncias (0 e 7 mm) da ponta fotoativadora em relação à resina. Nesse estudo, a redução do grau de conversão ao aumentar a distância da ponta de 0 para 7 mm, foi menos que 10% para todos os aparelhos. Os aparelhos LEDs de baixa potência foram inferiores aos de luz halógena, porém os aparelhos novos de alta potência mostraram valores de conversão maiores ou semelhantes.

Felix, Price e Andreou (2006) compararam o efeito da redução do tempo de exposição na microdureza de 10 tipos de resinas compostas fotoativadas por aparelhos LEDs de alta potência (segunda geração) e por aparelhos de luz halógena, utilizando duas distâncias (2 e 9 mm) diferentes da ponta fototivadora em relação a resina tentando simular uma situação clínica. As medidas de microdureza Knoop foram feitas a cada 0,5 mm, em amostras de 3,5 mm de espessura. Os resultados mostraram que o aparelho LED de alta potência estudado foi capaz de fotoativar as 10 resinas do mesmo modo que o aparelho de luz halógena, mas utilizando a metade do tempo de exposição recomendado pelos fabricantes e nas seguintes condições: quando a distância da ponta foi de 2 mm a uma profundidade de 3,5 mm, e a ponta com 9mm de distância da resina apenas a 1,5 mm de profundidade, em profundidades maiores a luz halógena foi superior.

2.2 Meios diretos e indiretos de avaliação da polimerização de resinas compostas

A mensuração da polimerização de uma resina composta pode ser realizada por meio de diversos métodos que podem ser subdivididos basicamente em duas categorias: direto e indireto.

DeWald e Ferracane (1987) compararam quatro métodos de avaliação da profundidade de polimerização em resinas compostas: o método óptico, o método de raspagem, a dureza e o grau de conversão. Os autores arbitraram como padrão aceitável de polimerização em profundidade 90% de grau de conversão ou 90% de

microdureza, ambos comparados com os resultados obtidos na superfície. Encontraram como resultados, após as comparações entre os métodos, que o método óptico e o de raspagem se correlacionaram bem, mas ambos superestimaram a profundidade de polimerização quando comparados aos valores aceitáveis de dureza Knoop ou o grau de conversão analisado pelo método da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier.

2.2.1 Microdureza

Ryge, Foley e Fairhurst (1961) recomendavam os testes de microdureza para classificação e comparação das propriedades de materiais odontológicos. Descreveram que a sugestão do uso de uma pirâmide de base quadrada com angulação de 136° foi feita por Smith e Sandland em 1925, o que deu origem à dureza Vickers, que era determinada usando cargas de 1 a 120 kgf. Em Odontologia, houve necessidade de diminuição da carga, surgindo então a microdureza. Dois tipos de indentadores foram citados como de uso com maior frequência: Vickers, com 136° e Knoop com $172,5^\circ$. Ainda no relato histórico, citaram que o uso da microdureza em Odontologia foi iniciado por Hodge em 1936 que avaliou dentina e em seguida por Knoop, Peters e Emerson em 1939 que mediram a dureza de alguns materiais recomendando o uso também para vidros, plásticos, esmalte e porcelanas.

Watts, Amer e Combe (1984) estudaram a profundidade de polimerização frente a diferentes condições, através da avaliação da dureza superficial de cinco

resinas compostas posteriores de cores e partículas diferentes, utilizando cinco aparelhos fotopolimerizadores (Translux - Kulzer, Primalite - Caulk, 3M LC System – 3M, Elipar - Espe e um experimental da ICI) por 60 s. Para isso, foram determinados alguns parâmetros: a dureza máxima do material (depende da extensão da polimerização e do tipo e concentração das partículas de carga); a profundidade na qual o material se encontra amolecido demais para medir a dureza; a profundidade do material onde foi atingida 80% de dureza máxima; a extensão da profundidade de polimerização em relação à da superfície. Os autores mencionaram que, em relação à profundidade e à fonte de luz, altas intensidades de luz tiveram desempenho superior na reação de polimerização. Mostraram também que um fluxo luminoso de 470 nm pode garantir o sucesso das restaurações e que uma fonte menos eficiente pode também promover uma polimerização satisfatória, se for utilizado um tempo maior, mas afirmaram que a extensão da profundidade de polimerização não é linearmente proporcional ao tempo de irradiação. A dureza máxima foi conseguida próxima ou na superfície e foi dependente do tipo e quantidade de partículas de carga. E sugeriram que, para os compósitos de cor escura, o tempo de polimerização seja dobrado. A intenção da definição desses parâmetros foi eliminar possíveis efeitos da concentração e tipo de cargas nos valores de dureza e assim avaliar a qualidade de polimerização dos materiais e fontes.

Watts, Amer e Combe (1987) estudaram a dureza superficial de cinco resinas compostas fotoativadas, medidas em vários intervalos de tempo (15, 30, 45 e 60 minutos, 6 e 24 horas, 1 semana e 1 mês) e armazenadas a 23°C e 37°C a seco e a 37°C em água destilada. A dureza dos materiais teve um aumento relativamente alto na primeira hora e continuou mais devagar, concluindo que a reação continua após

a polimerização. Em relação ao armazenamento, a 37°C a seco os valores de dureza foram maiores.

Atmadja e Bryant (1990) avaliaram alguns dos fatores que poderiam exercer influência sobre a profundidade de polimerização de resinas compostas. Utilizaram como parâmetro a microdureza Knoop na superfície irradiada e nas profundidades de 1, 2, 3, 4 e 6 mm. Cada resina foi inserida em uma matriz branca com 4 mm de diâmetro e diferentes alturas. Após a ativação com uma luz visível por 20 s, 40 s ou 60 s, era obtida a dureza Knoop na superfície que esteve em contato com a luz e na superfície oposta. As amostras foram armazenadas em um recipiente protegido da luz com água por 24 horas e uma semana. Verificaram que houve uma diminuição na dureza com o aumento da profundidade, e que com 40s de exposição os valores de dureza foram maiores que com 20 s. Nos tempos de armazenamento de 1 dia e 1 semana, houve aumento na dureza, em relação a 5 minutos. A composição da resina também influenciou na dureza, sendo que as híbridas, com maior quantidade de partículas, mostraram um declínio da dureza mais gradual com o aumento da profundidade. Concluíram também que, para se obter uma polimerização mais adequada, seria melhor uma redução na espessura do incremento do que aumentar o tempo de exposição.

Pilo e Cardash (1992) mediram a dureza Knoop nas superfícies superior e inferior de amostras com 2mm de espessura de seis resinas compostas indicadas para dentes anteriores e posteriores. As variáveis para estes intervalos incluíram diferentes tempos de exposição (20 s, 40 s e 60 s) e uma série de intervalos de tempo de armazenamento, a partir da ativação até 72 horas (30, 60 e 120 minutos, e 1, 2 e 3 dias). As amostras foram armazenadas em 100% de umidade relativa a 37°C. A microdureza pós-irradiação, nas áreas inferior e superior, aumentou

rapidamente na primeira hora, foi mais vagarosa durante 24 horas e não mostrou mais nenhum aumento após 24 horas. O aumento do tempo de exposição resultou em valores maiores de microdureza em ambas as superfícies. As alterações foram maiores para a superfície inferior. Foram necessários tempos de exposição maiores que os recomendados pelo fabricante, especialmente para as resinas microparticuladas, para atingir uma microdureza relativa (área inferior/superior) ótima de 80-90%. Percebeu-se que os valores máximos de dureza dependiam da fração volumétrica, mas não do tamanho médio da carga inorgânica. O aumento da dureza após a irradiação foi independente das características das resinas, provavelmente relacionado à cinética da polimerização. Como conclusão, os autores sugeriram que se aumentasse o tempo de exposição recomendado pelos fabricantes.

Mandarino (1992) estudaram, por meio de testes de microdureza Vickers, a capacidade de polimerização de resinas compostas fotopolimerizáveis nas tonalidades de cor clara e escura. Utilizaram três resinas compostas sendo duas de micropartícula e uma de características de carga híbrida, e três aparelhos de luz visível, em três diferentes tempos de exposição 20 s, 40 s e 60 s. Foram três medidas de microdureza Vickers a cada milímetro de profundidade. De acordo com os resultados, os autores concluíram que os materiais com tonalidades de cor clara apresentaram maiores valores de dureza do que os de tonalidade escura; porém, no primeiro milímetro, não houve diferença estatisticamente significativa entre as duas tonalidades, e que os melhores níveis de polimerização foram conseguidos no primeiro milímetro de profundidade, a partir daí houve uma relação indireta entre a dureza e a profundidade.

Masuda, Maluf e Muench (1999) estudaram a dureza Knoop de duas resinas compostas híbridas (Degufill H da Degussa e Z100 da 3M) ambas na cor A2,

utilizando as variáveis: tempo de irradiação, tipos de camadas, idade e profundidade. Para isso, foram feitos corpos-de-prova com 6 mm de altura, com disposição de camadas de espessuras diferentes: a primeira camada do fundo com 2 mm de altura, e a segunda ou superior com 4 mm; o outro tipo de camada foi: a primeira camada do fundo com 4mm e a segunda (superior) com 2 mm. A fotoativação foi feita por 40 s e por 80 s e a dureza foi determinada em 1 semana, 1 mês e 2 meses, mantendo as amostras em soro fisiológico a 37°C. Os autores concluíram que um maior tempo de irradiação resultou em uma maior dureza da resina Degufill H, mas não da Z-100, e que a dureza da Degufill H aumentou no período entre 1 semana e 1 mês, mas diminui entre 1 mês e 2 meses; e a da Z-100 diminui constantemente entre 1 semana e 2 meses, esta diminuição da dureza foi explicada pela absorção de água pela resina, em que a difusão de água provoca discreta separação das cadeias poliméricas e com isso menor dureza. E concluíram também que as durezas diminuíram com a profundidade, e que isso ocorreu mais nas espessuras maiores.

Turbino, Santos e Matson (2000) afirmaram que a cor e/ou transparência das matrizes utilizadas para confecção dos corpos-de-prova não deveriam induzir a diferenças nos resultados finais de microdureza dos testes laboratoriais. Com esta preocupação, avaliaram o efeito de duas matrizes de polipropileno, uma branca e outra preta. A resina foi inserida nas matrizes em incrementos de 1 mm até completar 3 mm e em camada única de 3 mm. Observaram que houve diferença significativa na microdureza Vickers entre as duas cores de matrizes, sendo que a preta apresentou menores valores. A técnica de camada única proporcionou valores de microdureza inferiores à técnica incremental para as duas cores de matrizes. A cor da matriz experimental utilizada exerceu influência nos valores de microdureza,

sendo que a matriz preta obteve valores de dureza menores do que os obtidos com a matriz branca, pois provavelmente a matriz preta impede a penetração de luz pelas laterais, recebendo luz apenas pela abertura da matriz. Concluíram que, com estes resultados, ao utilizar matrizes pretas para confecção dos corpos-de-prova de resina composta, os valores de microdureza, principalmente os relacionados com profundidade de polimerização, demonstraram o menor grau possível de polimerização.

Umbehaun (2001) comparou, *in vitro*, o grau de polimerização de três materiais restauradores estéticos diretos, por meio de testes de microdureza Vickers, sob a influência da espessura do incremento e a superfície do corpo-de-prova. As resinas (Z-100 – 3M, P60 – 3M e Definite - Degussa) foram inseridas em uma matriz preta e fotoativadas por 40 s com luz halógena. O material restaurador Z-100 apresentou maior microdureza, seguido da P60, enquanto que a Definite menor microdureza. Para todas as resinas, a microdureza na superfície voltada para a fonte de luz foi maior do que a na superfície oposta à fonte de luz, e, quanto maior foi a espessura do incremento, maior foi essa diferença. Assim, a autora concluiu que quanto maior a espessura do incremento menor será a microdureza Vickers, na face oposta, e que a redução da microdureza ocorreu a partir de 2 mm de espessura.

A profundidade de polimerização pode ser afetada por diversos fatores, como a intensidade de luz, o tempo de exposição, a distância do fotoativador e a quantidade de absorção de luz pelas resinas. Com base nisso, Consani et al. (2002) verificaram o efeito da inserção do compósito em camadas ou bloco único e dos métodos de ativação por luz contínua, duplo pulso ou por luz intermitente sobre os valores de dureza Knoop em resinas compostas com cargas diferentes (Z-100 e Alert). Os resultados mostraram que a Z-100 apresentou maiores valores médios de

dureza e, na técnica de porção dupla, apresentou valores de dureza superiores em relação à técnica de porção única, e a dureza na superfície foi maior que nas demais profundidades, independentemente dos fatores. Para a Z-100 todos os métodos de fotoativação promoveram maiores valores de dureza na inserção dupla, enquanto para a Alert a ativação por luz contínua promoveu similaridade estatística entre os dois tipos de inserção. Verificaram também que, quanto mais espessa for a camada de resina, menor será a dureza do compósito nas regiões mais fundas.

Martins et al. (2002) estudaram a influência da intensidade de luz de um aparelho de luz halógena e da cor da resina composta (A3, B3, C3, D3 e I) no grau de dureza Knoop. Mostrando uma relação direta entre intensidade de luz e microdureza dos compósitos, os autores recomendaram uma intensidade de luz acima de 450mW/cm^2 ou progressiva com inicial de 100 mW/cm^2 e final de 800 mW/cm^2 , sempre com o tempo de 40 s. A cor da resina composta não influenciou os valores de dureza superficial ao utilizar espessuras de no máximo 2 mm.

Say et al. (2003) determinaram a resistência ao desgaste de cinco resinas (P-60, Solitaire2, Ariston AT, Tetric Ceram e Admira) e correlacionaram com valores de microdureza Vickers. A resina que sofreu menor desgaste foi a P60, seguida por Solitaire 2, Ariston AT, Tetric Ceram e Admira. Quanto à microdureza, a resina P60 apresentou os maiores valores e as demais apresentaram valores equivalentes. Foi encontrada uma correlação positiva entre dureza e conteúdo de partículas inorgânicas (aumentando a concentração das partículas aumenta o valor de dureza) e uma correlação inversa entre microdureza e o desgaste, ou seja, a resistência ao desgaste foi maior para as resinas com maior dureza.

Estudos sobre as propriedades físicas das resinas compostas são de grande relevância clínica, principalmente quando o material é indicado para a aplicação em

áreas de grande estresse e em cavidades profundas. As propriedades relacionadas com a fratura dos materiais como resistência a fratura, a elasticidade, e a degradação marginal sobre estresse são normalmente determinadas pelos parâmetros: força flexural, módulo flexural, e resistência à fratura. Ersoy et al. (2004) determinaram a força flexural, o módulo flexural, a profundidade de polimerização, a microdureza e a contração de polimerização de resinas compostas condensáveis, híbridas e uma liberadora de íons. Os fatores que podem influenciar essas propriedades das resinas podem ser classificados em duas categorias: a natureza do material e os procedimentos utilizados. A natureza do material é determinada pelo tipo, peso e tamanho das partículas e formulação das resinas. Partículas inorgânicas incorporadas na matriz proporcionam propriedades mecânicas melhores. Assim, com o aumento, até certo limite, do peso das partículas espera-se melhorias nas propriedades. O segundo fator são os procedimentos de aplicação das resinas, que incluem técnicas de inserção em camadas e eficácia da fotoativação. A direção da fonte de luz, o tempo e a intensidade da luz podem influenciar na qualidade de polimerização e conseqüentemente afetar as propriedades e o desempenho clínico das resinas compostas. Compósitos com partículas mais duras e maiores possuem características de resistência maior, mas de mais difícil polimento. A quantidade, o tamanho, a distribuição e as propriedades das partículas e da matriz resinosa influenciam na microdureza. Os materiais mais utilizados para dentes posteriores, normalmente apresentam maiores valores de dureza Vickers e relativamente maior valor de resistência à compressão. As resinas podem ter uma adequada profundidade de polimerização e uma capacidade de ligação mais efetiva quando é utilizada a técnica incremental. A intensidade de luz, o tempo de irradiação e a

composição do material (matriz, partículas, opacidade e cor) influenciam na profundidade de polimerização.

Peris et al. (2005) avaliaram a microdureza Knoop da resina composta fotoativada com diferentes aparelhos LEDs comparada com a fotoativada com luz halógena por 40 s. Foram estudados dez grupos com 10 amostras de 2 mm cada. Os resultados mostraram que a microdureza da resina varia de acordo com o tipo de resina composta, com o tipo de aparelho fotoativador utilizado e com a profundidade em que a dureza é medida.

2.2.2 Grau de Conversão

A espectroscopia FTIR tem sido tradicionalmente utilizada para se determinar o grau de conversão de resinas compostas. Porém essa técnica apresenta algumas desvantagens como a necessidade do preparo das amostras em espessuras muito pequenas, o que pode ser uma dificuldade em materiais frágeis. Também pode se salientar o fato de que em materiais com carga, as partículas inorgânicas podem causar interferência nas bandas de interesse. A técnica por espalhamento FT-Raman tem sido sugerida como um método alternativo para se obter o grau de conversão das resinas sem a necessidade de qualquer preparação da amostra e com resultados semelhantes à outra técnica. A técnica Raman convencional

inicialmente apresentava pouca sensibilidade e interferência da fluorescência das resinas analisadas no sinal da banda de interesse. Foi desenvolvida então uma técnica híbrida, o FT- Raman, na qual um laser IR é usado como fonte para excitar as moléculas. Nessa técnica as principais vantagens são que amostras de qualquer espessura ou geometria podem ser analisadas, as partículas inorgânicas de sílica não interferem na curva usada para o cálculo de conversão e a vibração C=C dos dimetacrilatos é bem distinguida (SHIN et al., 1993).

Alguns pesquisadores têm conseguido identificar as bandas de vibração molecular de materiais biológicos e sintéticos, por meio da espectroscopia Raman. A banda Raman é específica para cada grupo químico em particular, e pode ser utilizada para uma identificação ou quantificação química. Enquanto a técnica de espectroscopia infravermelha de absorção mede a luz, de uma fonte de luz, absorvida por uma molécula específica, a técnica Raman mede as características da emissão induzida pelas moléculas por uma radiação laser. As diferenças que ocorrem nas frequências entre a luz laser e os sinais da emissão Raman correspondem à frequência vibracional das moléculas. A técnica Raman apresenta algumas vantagens em relação à técnica infravermelha. Um microscópio óptico de luz pode ser acoplado ao sistema Raman, e com isso as amostras podem ser escaneadas com resolução bidimensional ou ainda amostras de pequenos tamanhos podem ser analisadas e não é necessário destruir ou modificar a amostra. A técnica Raman poderia ser bastante utilizada em pesquisas odontológicas, porém muitas vezes há o problema de alguns materiais exibirem fluorescência quando irradiados pelo laser, afetando a intensidade o sinal Raman (TSUDA; ARENDS, 1997).

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

Halvorson, Erickson e Davidson (2002) estudaram a relação entre extensão de polimerização e energia (dose) aplicada durante a fotoativação da resina composta por meio da espectroscopia FTIR. O perfil de polimerização (porcentagem de conversão versus energia aplicada) mostrou uma gradual diminuição na conversão com o decréscimo da dose de energia. Embora houvesse diferenças entre o grau de conversão obtido para as diferentes resinas compostas, a conversão em 24 horas e em 5 minutos foi muito semelhante, para as mesmas resinas. Ainda, obtiveram graus de conversão muito semelhantes quando a densidade de energia foi mantida e a relação entre a intensidade e o tempo de exposição foram alterados. Mesmo, utilizando-se a máxima intensidade há uma limitação na conversão, característica do grande número de ligações cruzadas do polímero que restringem a mobilidade dos constituintes da rede. Conversão similar foi encontrada quando utilizadas energias equivalentes, mostrando evidências para a relação recíproca entre intensidade e tempo de exposição de significativa importância no estudo de

conversão em função do total de doses aplicadas. Este relacionamento estabelece o perfil de polimerização de uma resina composta como uma correlação universal entre tempo de exposição e intensidade.

Yoon et al. (2002) determinaram a efetividade da fotoativação de recentes aparelhos LEDS e arco de plasma comparando-os com a luz halógena convencional. Foram utilizados vários tempos de ativação com uma intensidade fixa para produzir sempre o mesmo total de energia de luz. O grau de conversão de 3 resinas compostas na cor A3 foi medido com um espectrômetro FTIR em várias profundidades da superfície. Imediatamente após a irradiação, um disco fino de 100 μm de espessura de resina foi seccionado em profundidades diferentes (1, 2, 3 e 4 mm) da superfície. Os resultados mostraram que o grau de conversão foi influenciado pelo tipo de resina composta, profundidade em relação à superfície, fonte de luz e intensidade de luz. Quando a mesma energia foi utilizada, o grau de conversão do arco de plasma e do LED não foram diferentes da luz halógena. Quando a intensidade foi dobrada, nenhuma diferença foi observada até 2 mm no grau de conversão.

Soh et al. (2004) compararam o grau de conversão de uma resina composta fotoativada por diferentes fontes de luz com diferentes modos de ativação (convencional, exponencial, pulso-espera, turbo e “soft-start”), sendo dois LEDs (Elipar Freelight e GC e-Light) e dois de luz halógena: um de alta intensidade (Elipar TriLight) e um de muito alta intensidade (Astralis), e tendo como controle um aparelho de luz halógena convencional (Max). A espectroscopia Raman foi utilizada para determinar o grau de conversão na superfície e no fundo de amostras de 2 mm de espessura de resina composta, não mostrando diferença significativa entre os modos de fotoativação estudados e o controle.

Lohbauer et al. (2005) não encontraram correlação entre a resistência flexural ou o limite da fadiga flexural com o grau de conversão em profundidade. Porém encontraram correlação entre a intensidade aplicada (LED, luz halógena e arco de plasma) com o grau de conversão assim como entre a resistência à fadiga do material. Os resultados da análise do grau de conversão mostraram que, na superfície da resina, os valores de conversão foram maiores do que na profundidade de 2,5 mm, e que o grau de conversão tanto na superfície como em profundidade foram superiores ao utilizar o aparelho LED de alta intensidade e o de luz halógena. Enquanto, o arco de plasma, em que foi utilizado um tempo menor de exposição, e o LED, com intensidade menor, apresentaram valores mais baixos de grau de conversão. A densidade de energia aplicada é importante no comportamento mecânico das resinas. Uma energia fixa, independentemente da variação da luz irradiada ou do tempo de exposição, produz o mesmo grau de conversão. Alguns fatores podem explicar a falta de correlação entre os resultados da fadiga mecânica das resinas com o grau de conversão. Entre eles estão os efeitos da cinética da polimerização na promoção de estresse interno, a estrutura dos monômeros ou as ligações cruzadas da matriz e outros efeitos inesperados que contribuem para os resultados finais das propriedades da resina.

Algumas propriedades da resina composta, como o grau de conversão, a força e o módulo flexural, são influenciadas não apenas pela energia da radiação como pela intensidade. Peutzfeldt e Asmussen (2005) avaliaram uma resina convencional que foi fotoativada com luz halógena utilizando 3 energias (4, 8 e 16 mJ/cm²) com 6 combinações de intensidades (50, 100, 200, 400 e 800 mW/cm²) e tempo de duração. O grau de conversão, a força e o módulo flexural aumentaram com o aumento da energia. Longos tempos de ativação com uma intensidade, a

uma dada energia, levam a um maior grau de conversão do que ativações curtas a altas intensidades. As propriedades mecânicas, força e o módulo flexural, mostraram o maior valor a uma potência intermediária por longos tempos de ativação do que a altas intensidades por curtos tempos. E são altamente influenciadas pelo grau de ligações cruzadas. Não apenas a energia, mas também a intensidade tem uma significativa influência nas propriedades da resina composta.

2.2.3 Correlação entre dureza e grau de conversão

Ferracane (1985) mostrou uma forte correlação entre dureza Knoop e grau de conversão, analisado por meio do FTIR, estudando três resinas sem carga e quimicamente ativadas, durante alguns intervalos de tempo. Porém essa correlação foi muito fraca quando a análise foi feita com as três resinas em todos os períodos ao mesmo tempo. Concluiu que não se consegue correlacionar uma dureza específica com uma conversão específica, quando se está comparando diferentes tipos de resinas. É possível que duas resinas com diferentes graus de conversão possam ter propriedades mecânicas idênticas, quando testadas na mesma temperatura.

Ferracane e Greener (1986) avaliaram a correlação entre alguns testes de propriedades mecânicas como resistência a tração, dureza, resistência à compressão, módulo e resistência flexural com o grau de conversão de resinas sem

carga. Verificaram uma correlação positiva entre a melhora das propriedades estudadas com o aumento do grau de conversão.

Eliades, Vougiouklaskis e Caputo (1987) estudaram o grau de conversão por meio da espectroscopia infravermelho ATR, a dureza Knoop e a pós-polimerização pelo calor por meio de leituras de calor liberados durante a conversão (DSC - “differential scanning calorimetry”) de cinco resinas compostas. Os resultados mostraram que tanto o grau de conversão como a microdureza foram influenciados pela profundidade da resina e pelo tempo de fotoativação. Porém, foi observada uma diminuição maior no grau de conversão do que nos valores de microdureza, não encontrando correlação entre esses parâmetros. E uma grande diminuição na pós-polimerização 24 horas após a irradiação devido ao menor número de radicais livres presentes.

Chung e Greener (1990) estudaram a correlação entre grau de conversão, concentração de partículas e propriedades mecânicas de resinas compostas para dentes posteriores. As resinas com maior quantidade de partículas mostraram ser materiais mais duros e rígidos, com resistência à compressão comparável ao esmalte e dentina. O trabalho mostrou correlação significativa entre a fração de volume das partículas e a força diametral e a resistência à compressão e também entre a fração de volume de partículas e a microdureza Knoop, porém não houve correlação entre o grau de conversão, analisado pelo método FTIR, e as propriedades mecânicas estudadas, para nenhuma das resinas analisadas.

Neves et al. (2002) avaliaram a correlação entre grau de conversão (FTIR) e microdureza (Vickers) em resinas compostas indiretas e o efeito do conteúdo de partículas inorgânicas e o tipo de unidade fotoativadora. Os resultados da microdureza, assim como os de grau de conversão variaram entre os materiais,

mostrando uma forte correlação entre o grau de conversão e a microdureza. Pôde ser observada também uma relação direta entre o conteúdo de partículas e a microdureza, porém o mesmo não aconteceu entre o grau de conversão e o conteúdo de carga. Com relação ao uso de diferentes aparelhos, houve variações entre o grau de conversão e a microdureza dependendo da unidade fotoativadora e sua intensidade.

Santos (2003) avaliou a profundidade de polimerização de uma resina composta híbrida (Z-250) submetida a duas fontes de ativação por 40 s (luz halógena e LED) por meio da espectroscopia de micro-Raman e da microdureza Knoop. Os resultados mostraram que ocorreram quedas tanto nos valores de grau de conversão como na dureza à medida que aumentou a profundidade. A análise de regressão das médias mostrou forte correlação entre as duas grandezas estudadas, independentemente da fonte fotoativadora empregada.

Knobloch et al. (2004) compararam a dureza Knoop em 0, 2 e 4 mm de profundidade e o grau de conversão determinado por meio da espectroscopia infravermelha FTIR para três resinas condensáveis, uma microparticulada, uma microhíbrida e uma indireta. As resinas com maior quantidade de partículas mostraram maior grau de conversão e melhores valores de dureza, ou seja, materiais com maior quantidade de partículas inorgânicas exibem melhoras nas propriedades mecânicas. Porém conforme aumenta a espessura do material diminui a transmissão de luz e com isso a dureza e o grau de conversão. O trabalho mostrou correlação entre os valores de microdureza e o grau de conversão, ou seja, conforme aumentou a espessura da resina diminuíram tanto os valores de microdureza como os de grau de conversão.

3 PROPOSIÇÃO

Este trabalho propõe-se a avaliar “in vitro” o grau de conversão e a microdureza de uma resina composta híbrida fotoativada com laser de argônio, com LED e com luz halógena, variando-se a distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta, avaliando-se também a correlação entre as grandezas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

- Cartolina preta e opaca tamanho 10 cm X 15 cm
- Espátula antiaderente de inserção de resinas compostas – Marca Thompson, número 12 – Dental MFG – CO - EUA
- Lâmina de vidro para microscopia de 25 mm X 75 mm com 1 mm de espessura – Glasstécnica Importação e Comércio de Vidros Ltda - Brasil
- Matrizes de polipropileno pretas na forma de cilindro com 8 mm de diâmetro externo e cavidade com 4mm de diâmetro interno com espessuras de 1, 2, 3 e 4 mm fabricadas especialmente para este estudo.
- Recipientes de plástico de cor preta para armazenamento dos corpos-de-prova (embalagens de filme fotográfico)
- Resina composta híbrida Filtek Z250[®], cor A3, lote 5RB – 3M/ESPE - St. Paul e importada por 3M do Brasil Ltda – Produtos Dentários, Sumaré, São Paulo, Brasil .

Composição:

- partículas de carga: zircônia/sílica

- tamanho médio das partículas: 0.6 μm (de 0.01 μm a 3.5 μm)
- quantidade de carga: 60% em volume
- matriz: BIS-GMA, TEGDMA, UDMA e BIS-EMA
- Tiras de poliéster – marca Metalúrgica Fava Ind. Com. Ltda - Brasil

4.2 Equipamentos

- Aparelho fotoativador convencional – Degulux SoftStart[®] – DEGUSSA-HULS – Alemanha – utilizado na intensidade máxima de 500mW/cm².
- Aparelho de Laser de Argônio – Accucure 3000[™] – LASER MED – EUA – instalado no LELO (Laboratório Especial de Laser em Odontologia) do Departamento de Dentística da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo. Gera luz em um comprimento de onda de 457 a 514 nm com maior pico em 488 nm. As potências podem ser programadas em 100, 150, 200 e 250 mW e tempo regulável. Utilizado segundo as normas de segurança: utilização de óculos protetores pelo operador, assim como pelos demais presentes no local. No caso do Laser de Argônio foram empregados óculos com lentes de coloração laranja/amarelo. Evitou-se a utilização de instrumentos refletores. Houve atenção especial com relação a outros produtos inflamáveis utilizados durante a manipulação de sistemas de Laser

para evitar o risco de fogo. Manipulação do aparelho realizada em ambiente fechado, empregando-se sempre uma placa de aviso externa, a fim de impedir a entrada de pessoas não qualificadas ou desavisadas no local.

- Aparelho fotoativador LED – Elipar Freelight 2 – 3M/ESPE – escala de comprimento de onda de 430-480nm, e intensidade cerca de 1000 mW/cm², segundo o fabricante.
- Estufa a 37°C – Orion 502 –Fanem - Brasil
- Microdurômetro HMV 2000 - SHIMAZU - Japão. Acoplado a um microcomputador com Software CAMS-WIN e instalado no Laboratório de Pesquisa do Departamento de Dentística da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.
- Radiômetro Litex – EUA - valores fornecidos em mW/cm² – graduado de 0 a 1000.
- LED Radiometer – Southern Dental Industries – Austrália. Importado por SDI Brasil Indústria e Comércio Ltda.
- Espectrômetro FT- Raman (RFS 100/S – Bruker) equipado com detector de germânio e refrigerado a nitrogênio líquido, com resolução de 4 cm⁻¹ e 64 co-adições, do Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da USP. As condições do aparelho foram :
 - potência do laser: 100 mW
 - número de co-adições: 128/64
 - intervalo: 4000 a 100 cm⁻¹
 - divisor de feixe de quartzo

- abertura 7 mm
- posição da amostra: 100

4.3 Métodos

Foram confeccionados 640 corpos-de-provas, distribuídos em 80 grupos com 8 repetições cada. Como fontes de fotoativação foram utilizadas, a luz halógena com tempos de 40 segundos, LED por 20 segundos e o laser de argônio com potência de 250 mW com tempos de 20 e 30 segundos. As espessuras dos corpos-de-prova foram de 1, 2, 3 e 4 mm, de acordo com as espessuras das matrizes utilizadas. Também foram obtidas medidas na superfície irradiada, caracterizando a região denominada de 0 mm. As características principais desses grupos estão esquematizadas no Quadro 4.1.

fonte	distância	espessura				
		0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
F40	0 mm	G1	G5	G9	G13	G17
	3 mm	G2	G6	G10	G14	G18
	6 mm	G3	G7	G11	G15	G19
	9 mm	G4	G8	G12	G16	G20
L20	0 mm	G21	G25	G29	G33	G37
	3 mm	G22	G26	G30	G34	G38
	6 mm	G23	G27	G31	G35	G39
	9 mm	G24	G28	G32	G36	G40
L30	0 mm	G41	G45	G49	G53	G57
	3 mm	G42	G46	G50	G54	G58
	6 mm	G43	G47	G51	G55	G59
	9 mm	G44	G48	G52	G56	G60
LED20	0 mm	G61	G65	G69	G73	G77
	3 mm	G62	G66	G70	G74	G78
	6 mm	G63	G67	G71	G75	G79
	9 mm	G64	G68	G72	G76	G80

Quadro 4.1 - Características dos grupos confeccionados

Para a confecção dos corpos-de-prova foram utilizadas as matrizes circulares de polipropileno pretas, com cavidade de 4 mm de diâmetro e alturas de 1, 2, 3 e 4 mm. (figura 4.1).

Figura 4.1 - Matrizes de polipropileno pretas nas espessuras de 1, 2, 3 e 4 mm

Cada matriz foi apoiada sobre a lâmina de vidro para microscópio que serviu de apoio e possibilitou a obtenção de uma superfície plana e lisa na resina composta. A cartolina preta evitou que existisse reflexão do fundo. (Figura 4.2).

Figura 4.2 - Matriz e tira de poliéster posicionada sobre a lâmina e a cartolina

A inserção da resina foi em porção única, com espátula de inserção de Thompson número 12, preenchendo a cavidade da matriz. Sobre a mesma foi posicionada uma tira de poliéster, com a finalidade de aplainar, promover lisura e

evitar a formação da camada de dispersão na superfície da resina. Para o aplainamento e paralelismo da superfície foi também utilizada temporariamente outra lâmina de vidro de microscópio sobre a superfície, que em seguida era retirada para aplicação dos métodos de ativação.

Após a inserção da resina composta, ela foi fotoativada com aparelho fotoativador correspondente ao grupo, ou seja: Degulux Soft-Star, cuja intensidade de luz era de 500 mW/cm^2 (aferida com radiômetro), pelo tempo de 40 segundos ou o Aparelho de laser de argônio com comprimento de onda de 488 nm em potência de 250 mW (intensidade de 600 mW/cm^2) e tempos de 20 e 30 segundos ou o LED-Elipar Freelight II por 20 segundos (intensidade de 900 mW/cm^2 aferida pelo radiômetro para LEDs) seguindo-se as especificações do manual que recomenda a metade do tempo utilizado pelos aparelhos convencionais de luz halógena.

Para cada tipo de aparelho, foram utilizadas 4 distâncias diferentes entre a ponta dos aparelhos e a superfície da resina durante a fotoativação: 0 mm (encostando-se a ponta na tira de poliéster), 3 mm, 6 mm e 9 mm. Para padronizar essa distância, foram utilizados anéis com altura correspondente às que se quis estudar e com a abertura correspondente ao tamanho da matriz (Figura 4.3). Assim, os anéis foram encaixados em volta de cada matriz, já com a resina inserida, antes da fotoativação e a ponta do aparelho ativador ficou posicionada sobre esse anel. Houve o cuidado para que as pontas fossem posicionadas com o seu centro coincidindo com o centro do corpo-de-prova e sem movimentação durante a irradiação (Figura 4.4).

Figura 4.3 – Anéis de metais nas alturas de 1, 2, 3 e 4 mm com as matrizes e os anéis de padronização da distância de 3, 6 e 9 mm.

Figura 4.4 - Pontas dos fotoativadores em posição: A) Halógena; B) Laser; C)LED

Após o término da fotoativação da resina composta, a superfície oposta à irradiada era marcada com caneta hidrográfica na própria matriz (figura 4.5) e cada grupo era armazenado por uma semana a seco, em estufa a 37°C, em recipientes protegidos da luz por 7 dias.

Figura 4.5 – Corpos-de-prova concluídos nas espessuras de 1, 2, 3 e 4 mm

4.3.1 Análise da microdureza

As medidas de microdureza Vickers foram obtidas com carga de 50 gf por 45 segundos num microdurômetro HMV-2000, com auxílio do software CAMS-WIN (Figura 4.6). Cada corpo-de-prova, sem ser removido da matriz, teve a superfície oposta à irradiada examinada com a realização de cinco medidas, sendo uma central (definida pela luz guia do aparelho) e outras quatro a aproximadamente 100 μm de distância desta (Figura 4.7). Para as medidas dos grupos 0 mm, foram utilizadas matrizes de 1 mm e foi medida a dureza da superfície irradiada.

Figura 4.6 - A) Microdurômetro; B) Execução da marca com penetrador Vickers

Figura 4.7. Esquema da localização das indentações em cada corpo-de-prova.

Para alguns corpos-de-prova, após a aplicação da carga, a marca deixada na resina era excessivamente grande para ser medida, caracterizando uma dureza muito baixa. Para essas medidas foi atribuído o valor zero de dureza, para efeito de análise de dados.

O desenho produzido pela indentação tinha a forma de um quadrado com uma cruz no meio. O cursor foi centralizado na demarcação e com o mouse foram demarcadas as 4 extremidades da demarcação (Figura 4.8).

O programa calculou o valor da dureza Vickers, através da profundidade de penetração superficial (unidade de força por área - Kgf/mm^2). O número de dureza é calculado dividindo-se a carga aplicada pela área da superfície produzida (ANUSAVICE, 2005).

Figura 4.8. Marca deixada pelo penetrador no corpo-de-prova

4.3.2 Análise do Grau de Conversão

A análise do grau de conversão foi realizada no Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Para isso 3 amostras de cada grupo foram levadas ao Espectrômetro RFS 100/S FT-Raman, onde um feixe de laser de Nd:YAG (1064 nm) foi utilizado para excitar as moléculas do material para observação das bandas de espalhamento, neste caso referentes às duplas ligações de carbono alifáticas e aromáticas (Figura 4.9). Quando excitados, os grupos funcionais ativos emitem frequências específicas (relacionadas com o modo de vibração). A varredura foi realizada na face onde a luz fotoativadora foi aplicada e na face oposta do grupo de 1mm e apenas na face oposta nos demais grupos. O espectro espalhado é captado por um detector sensível e os dados foram armazenados em um computador e em seguida levados a um software para análise das curvas espectrais.

Em seu espectro, calculou-se a razão entre as intensidades das bandas correspondentes às ligações aromáticas e alifáticas de carbono, que correspondem às bandas de 1610 cm^{-1} e 1640 cm^{-1} respectivamente. A banda aromática C=C se origina dos anéis benzênicos das moléculas do monômero e sua intensidade permanece inalterada durante a polimerização (FRÓES, 2005).

Foram realizadas também medidas no compósito ainda não polimerizado para servir como base de cálculo para quantificar o grau de conversão, a partir do seguinte modelo matemático (SANTOS, 2003):

$$GC\% = \left[1 - \frac{(A/B)}{(C/D)} \right] \times 100$$

Onde:

A= banda de espalhamento das ligações C=C alifáticas do polímero.

B= banda de espalhamento das ligações C=C do anel aromático do polímero.

C= banda de espalhamento das ligações C=C alifáticas do monômero.

D= banda de espalhamento das ligações C=C do anel aromático do monômero.

Através da comparação entre as razões obtidas na resina não polimerizada e na polimerizada, calcula-se a proporção de ligações C=C alifáticas que se transformou em ligações simples C-C, caracterizando a conversão (FRÓES, 2005).

Figura 4.9. Aparelho espectrômetro FT-Raman (Departamento de Química Fundamental)

5 RESULTADOS

Os resultados originais consistiram de 2240 valores, sendo 2000 valores referentes à microdureza da resina e 240 valores referentes ao grau de conversão. Para a análise estatística com o auxílio do software GMC versão 2002, os dados das duas variáveis foram avaliados separadamente e em seguida foi estudada a correlação entre as duas.

5.1 Microdureza

Os dados referentes à microdureza correspondiam a 4 fontes fotoativadoras, 5 espessuras, 4 distâncias, 5 repetições e 5 medidas para cada corpo-de-prova ($4 \times 5 \times 4 \times 5 \times 5 = 2000$) .

Para a análise dos dados, foi realizada a média das 5 medidas para cada corpo-de-prova, resultando em um total de 400 dados (Tabela 5.1). Foi utilizada a análise de variância e teste de Tukey para a comparação entre as médias dos grupos.

Tabela 5.1 – Valores médios de microdureza Vickers (carga de 50 gf e tempo de 45 s) - resina híbrida

Fonte	distância	Espessura				
		0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
F40	0 mm	86,92	81,88	76,6	56,88	34,36
		83,62	79,16	80,5	64,8	36,28
		83,78	81,32	83,6	57,8	33,36
		85,74	86,26	84,34	63,84	37,28
		81,34	86,56	86,94	60,7	35,38
	3 mm	82,44	80,2	74,04	51,94	26,96
		83,72	76,64	71,74	51,6	25,36
		79,28	75,5	71,94	58,66	26,04
		86,88	81	75,48	50	27,92
		83,8	76,36	70,18	53,18	32,84
	6 mm	86,82	78,32	66,08	46,32	16,48
		83,56	78,2	63,28	44,06	16,12
		84,26	80,66	70,4	42,36	15,5
		85,94	75,94	67,84	40,5	17,7
		85,26	83,56	68,54	45,74	18,82
	9 mm	78,52	70,86	63,44	35,62	13,18
		75,54	72,14	61,06	32,84	7,02
		75,24	71,12	61,38	32,56	0
		76,2	74,02	60,32	30,96	13,26
		79,94	76,5	60,46	33,92	13,54
L20	0 mm	83,6	74,38	49,46	22,68	0
		73,76	67,56	40,62	14,02	0
		72,48	74,32	43	21,1	0
		81,84	62,82	48,74	18,44	0
		77,58	73,68	40,08	15,14	0
	3 mm	80,52	69,58	51,26	16,6	0
		64,68	63,86	49,24	18,2	0
		86	66,92	44,46	20,92	0
		83,36	71,52	39,72	28,8	0
		83,92	65,92	35,04	19,96	0
	6 mm	75,52	57,72	50,8	5,92	0
		80,38	73,2	50,32	5,72	0
		78,8	70,14	49,84	5,72	0
		82,88	71,36	41,38	10,8	0
		79,24	57,84	31,3	4,04	0
	9 mm	81,26	70,16	44,96	0	0
		80,2	59,36	33,48	0	0
		79,4	72,62	49,06	0	0
		79,22	71,32	48,4	0	0
		76,38	66,82	38,54	0	0
L30	0 mm	78,22	69,28	65,86	41,34	14,68
		73,76	72,74	65,14	38,82	13,64
		79,86	79,6	64,04	38,16	10,54
		68,86	61,78	62,7	34,36	5,84
		85,98	77,66	67,22	34,76	10,58
	3 mm	71,24	72,84	68,98	31,42	12,74
		78,4	78,44	62,48	30,42	17,04
		81,24	80,36	57,38	25,24	14,38
		83,96	75,24	60,54	40	10,72
		79,32	77,14	62,62	36,76	11,38

continua

conclusão

LED 20	6 mm	83,72	71,08	50,66	24,34	0
		85,16	68,86	59,98	27	0
		79,92	73,46	36,52	32,58	0
		77,14	56,82	45,88	27,2	0
		80,72	64,48	43,44	29,68	0
	9 mm	83,83	84,18	58,94	22,64	0
		87,09	79,6	55,46	21,8	0
		79,96	82,3	52,30	29,4	0
		82,78	73,78	63,94	31,84	0
		85,6	79,56	52,76	26,34	0
	0 mm	78,36	79,44	76,46	50,82	26,14
		79,76	80,94	78,16	47,38	27,2
		81,84	74,88	72,16	51,9	29,68
		82,78	79,78	78,56	53,92	29,04
		80,46	79,56	73,92	44,9	28,36
	3 mm	83,2	82,52	71,36	41,84	29,28
		82,8	78,78	75,44	49,44	22,02
		80,04	80,1	76,68	49,32	22,36
		79,72	79,6	75,82	50,44	25,48
		80,6	80,6	73	46,96	26,26
	6 mm	84,64	74,16	61,3	29,94	10,58
		79,96	71,98	61,38	36,18	3,52
		81,62	73,52	60,64	31,72	0
		77,52	69,10	59,24	31	6,72
		81,58	67,94	59,86	28,44	11,04
	9 mm	73,64	67,7	40,84	14,66	0
		75,1	64,54	53,64	18,3	0
		79,7	66,18	42,02	18,68	0
		77,64	65,86	44,72	16,76	0
		76,46	67,82	49,22	17,6	0

A análise de variância (Quadro 5.1) mostrou haver diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% entre as distâncias ($F=213.93$), entre as espessuras ($F=4711.65$), entre as fontes ($F=474.75$) e nas interações distância *versus* espessuras ($F= 24.88$), fontes *versus* distâncias ($F=33.33$), fontes *versus* espessuras ($F=45.67$) e distância *versus* espessuras *versus* fontes ($F=3.56$).

Fonte de Variação	SQ	G.L.	QM	(F)	Prob.(H0)
Entre distâncias	9349.3301	3	3116.4434	213.93	0.000%*
Entre espessuras	274554.9375	4	68638.7344	4711.65	0.000 % *
Entre fontes	20748.4492	3	6916.1499	474.75	0.000 % *
Interação CxL	4349.8823	12	362.4902	24.88	0.000% *
Interação BxC	4369.9507	9	485.5501	33.33	0.000%*
Interação BxL	7984.0635	12	665.3386	45.67	0.000%*
Interação BxCxL	1867.5367	36	51.8760	3.56	0.000%*
Resíduo	4661.7251	320	14.5679		
Variação total	327885.8750	399			

* estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0.05$)

Quadro 5.1 – Resultados da Análise de variância – microdureza

Foi calculado o Tukey ($T=10.27$) da interação distância *versus* espessuras *versus* fontes, para comparar o comportamento dos grupos individualmente. Esses valores médios e seus respectivos desvios-padrões são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 5.2 – Valores médios de microdureza Vickers da interação distância *versus* espessuras para a fonte de luz halógena por 40 s

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	84.28 ± 2.14	83.22 ± 2.74	85.16 ± 1.29	77.08 ± 2.04
1 mm	83.03 ± 3.24	77.94 ± 2.48	79.33 ± 2.89	72.92 ± 2.35
2 mm	82.39 ± 3.97	72.67 ± 2.08	67.22 ± 2.69	61.33 ± 1.25
3 mm	60.8 ± 3.52	53.07 ± 3.32	43.79 ± 2.40	33.18 ± 1.72
4 mm	35.33 ± 1.54	27.82 ± 2.96	16.92 ± 1.32	9.4 ± 5.9

Gráfico 5.1 – Interação distância x espessuras – Luz halógena

Nota-se que se utilizando a luz halógena por 40 s com uma distância de 0 mm, ou seja, encostando-se a ponta do fotoativador na superfície da resina, não há diferença estatisticamente significativa nos valores de microdureza até 2 mm de espessura. Com 3 mm de espessura os valores foram menores que 2 mm e com 4 mm os valores foram menores que 3 mm. Ao utilizar as distâncias de 3, 6 e 9 mm não houve diferença estatística somente até 1 mm de espessura. A partir de 2 mm os valores de microdureza foram diminuindo conforme aumentava a espessura.

O gráfico 5.1, obtido por meio dos dados da tabela 5.2, mostra este comportamento, ou seja, todas as linhas em declínio com o aumento da espessura. Verifica-se também que até 1 mm de espessura não há diferença entre se utilizar as

distâncias de 0, 3, 6 e 9 mm. A partir de 2 mm de espessura não há diferença estatística entre 0 e 3 mm de distância, porém utilizando-se as distâncias de 6 a 9 mm os valores de microdureza diminuem conforme aumenta a distância.

Tabela 5.3 – Valores médios de microdureza Vickers da interação distância *versus* espessuras para a fonte laser de argônio por 20 s

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	77.85 ± 4.8	79.69 ± 8.6	79.36 ± 2.6	79.29 ± 1.8
1 mm	70.55 ± 5.18	67.56 ± 3.02	66.05 ± 7.62	68.05 ± 5.31
2 mm	44.38 ± 4.45	43.94 ± 6.68	44.72 ± 8.45	42.88 ± 6.71
3 mm	18.27 ± 3.71	20.89 ± 4.71	6.44 ± 2.55	0 ± 0
4 mm	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0

Gráfico 5.2 – Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 20 s

Pode-se notar na tabela 5.3, que ao utilizar o laser de argônio por 20 s com as distâncias de 0 e 3 mm entre a ponta e a superfície da resina, não houve diferença estatística até 1 mm de espessura; porém, a partir de 2 mm de espessura, os valores de microdureza diminuíram conforme aumentou a espessura da resina. Com 6 e 9 mm de distância, a partir da espessura de 1 mm houve uma diminuição nos valores de microdureza conforme aumentava a espessura da resina. Analisando-se

o gráfico 5.2, verifica-se também esse comportamento, um declínio bem acentuado nas linhas com o aumento da espessura. Comparando-se as distâncias entre si, observa-se que até 2 mm de espessura não há diferença estatística significativa entre as distâncias utilizadas. Com 3 mm de espessura de resina composta não houve diferença entre se utilizar 0 e 3 mm de distância, mas com 6 mm de distância os valores de microdureza diminuíram e com 9 mm de distância os valores foram menores ainda, considerados como zero de microdureza. Com 4 mm de espessura não houve diferença, todas as distâncias obtiveram zero de microdureza.

A tabela 5.4 mostra os valores de microdureza ao utilizar o laser de argônio por 30 s.

Tabela 5.4 – Valores médios de microdureza Vickers da interação distância *versus* espessuras o laser de argônio por 30 s

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	77.33 ± 6.45	78.83 ± 4.74	81.33 ± 3.17	83.87 ± 2.73
1 mm	72.21 ± 7.10	76.8 ± 2.89	66.94 ± 6.55	79.88 ± 3.92
2 mm	64.99 ± 1.72	62.4 ± 4.42	47.29 ± 8.73	56.68 ± 4.84
3 mm	37.48 ± 2.92	32.76 ± 5.74	28.16 ± 3.11	26.4 ± 4.29
4 mm	11.05 ± 3.44	13.26 ± 2.53	0 ± 0	0 ± 0

Gráfico 5.3 – Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 30 s

Utilizando o laser de argônio por 30 s, verifica-se que com as distâncias de 0 e 3 mm não houve diferença estatística entre as espessuras de 0 e 1 mm, mas a partir de 2 mm de espessura os valores de microdureza foram diminuindo conforme aumentava a espessura. Com 6 e 9 mm de distância, os valores de microdureza começaram a diminuir a partir de 1 mm de espessura de resina.

O gráfico 5.3 evidencia bem esse comportamento, isto é, há um declínio nas linhas conforme aumentam as espessuras, e semelhança entre o comportamento das distâncias nas diferentes espessuras, sendo que em espessuras de 4 mm de resina as distâncias de 6 e 9 mm mostraram valores menores, porém semelhantes entre si, quando comparados aos obtidos com 0 e 3 mm de distância que também foram semelhantes entre si.

Tabela 5.5 – Valores médios de microdureza Vickers da interação distância *versus* espessuras para a fonte LED por 20 s

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	80.64± 1.73	81.27±1.61	81.06±2.60	76.5±2.32
1 mm	78.92±2.33	80.32±1.40	71.34±2.72	66.42±1.36
2 mm	75.85±2.75	74.46±2.20	60.48±0.92	46.08±5.31
3 mm	49.78±3.61	47.6±3.46	31.45±2.91	17.2±1.59
4 mm	28.08±1.42	25.08±2.99	6.37±4.69	0±0

Gráfico 5.4 – Interação distância x espessuras – LED

A tabela 5.5 e o gráfico 5.4 mostram que ao utilizar o LED por 20 s com as distâncias de 0 e 3 mm da ponta fotoativadora, não houve diferença estatística até 2 mm de espessura, a partir de 3 mm de espessura os valores de microdureza foram diminuindo. Ao utilizar as distâncias de 6 e 9 mm da ponta não houve diferença estatística nos valores até a espessura de 1 mm, a partir de 2 mm os valores foram diminuindo conforme aumentou a espessura da resina composta. Em relação ao comportamento das distâncias em cada espessura, pode-se observar que com 0 mm de espessura não houve diferença entre as distâncias utilizadas. Em 1 mm de espessura da resina os valores obtidos com a distância de 9 mm da ponta mostrou diferença entre os valores obtidos nas distâncias de 0 e 3 mm. E nas espessuras de 2, 3 e 4 mm não houve diferença entre os valores obtidos ao utilizar as distâncias de 0 e 3 mm, porém diminuíram ao utilizar as distâncias de 6 e 9 mm.

Para avaliar a qualidade da polimerização em relação à dureza máxima da resina, optou-se por calcular, para cada grupo, as porcentagens correspondentes a esse valor, denominado porcentagem de dureza máxima (PDM). Foi utilizada como o valor de referência de maior dureza obtida (100%), a média de microdureza obtida pelo grupo controle ($m=84,28$), ou seja, utilizando-se a luz halógena por 40s em 0 mm de espessura (na superfície irradiada) com a distância de 0 mm da ponta fotoativadora (encostando-a na superfície). Todas as médias da interação distância *versus* espessura *versus* fontes foram transformadas em porcentagem em relação a este valor máximo, para cada distância estudada (0, 3, 6 e 9 mm). O valor crítico de aceitação foi de 80%. As médias iguais ou superiores a 80% foram assinaladas em **negrito** em cada tabela.

Tabela 5.6 – Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes *versus* espessuras na distância de 0 mm

	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
H40	100	98.51	97.75	72.14	41.95
L20	92.37	83.7	52.65	21.67	0
L30	91.75	85.67	77.11	44.47	13.11
Led20	95.68	93.64	89.99	59.06	33.31

Gráfico 5.5 - Valores de PDM para a interação fonte *versus* espessuras na distância de 0 mm

Nota-se (tabela 5.6) que, utilizando-se a distância de 0 mm entre a superfície da resina composta e a ponta fotoativadora, os aparelhos de luz halógena e LED obtiveram valores iguais ou superiores a 80% até a espessura de 2 mm de resina. O laser de argônio por 20 s e 30 s só atingiram valores iguais ou maiores que 80% até 1 mm de espessura (gráfico 5.5).

Tabela 5.7 – Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes *versus* espessuras na distância de 3 mm

	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
H40	98.74	92.47	86.22	62.96	33
L20	94.55	80.16	52.13	24.98	0
L30	93.53	91.12	74.03	38.87	15.73
Led20	96.42	95.3	88.34	56.47	29.75

Gráfico 5.6 – Valores de PDM para a interação fonte *versus* espessuras na distância de 3 mm

Analisando-se a tabela 5.7 e o gráfico 5.6, nota-se que, utilizando-se a distância de 3 mm entre a ponta e a resina composta, o comportamento foi semelhante àquele de quando foi utilizada a distância de 0 mm, ou seja, até 2 mm de espessura apenas os aparelhos de luz halógena e o LED obtiveram valores superiores a 80% da dureza máxima. O laser de argônio por 20 s e 30 s também só atingiu valores superiores a 80% até a espessura de 1 mm. E a partir de 3 mm de espessura nenhuma fonte manteve os 80% da dureza máxima.

Tabela 5.8 – Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes *versus* espessuras na distância de 6 mm

	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
H40	100	94.12	79.75	51.95	20.07
L20	94.16	78.36	53.06	7	0
L30	96.49	79.42	56.11	33.41	0
Led20	96.17	84.64	71.76	37.32	7.55

Gráfico 5.7 – Valores de PDM para a interação fonte *versus* espessuras na distância de 6 mm

Observa-se na tabela 5.8 e no gráfico 5.7 que, ao utilizar a distância de 6 mm entre a ponta fotoativadora e a superfície da resina, os aparelhos de luz halógena e o LED obtiveram valores superiores a 80% apenas até a espessura de 1 mm. O laser de argônio por 20 s e 30 s somente em 0 mm de espessura mostrou valores superiores a 80% da dureza máxima.

Tabela 5.9 – Valores de porcentagem de dureza máxima para a interação fontes *versus* espessuras na distância de 9 mm

	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
H40	91.45	86.52	72.76	39.36	11.15
L20	94	80.74	50.87	0	0
L30	99.51	94.77	67.25	31.32	0
Led20	90.76	78.8	54.67	20.4	0

Gráfico 5.8 – Valores de PDM para a interação fonte *versus* espessuras na distância de 9 mm

Nota-se (tabela 5.9) que, utilizando a distância de 9 mm entre a ponta e a resina composta, na espessura de 0 mm todas as fontes estudadas obtiveram valores superiores a 80% da dureza máxima, porém na espessura de 1 mm de resina somente os aparelhos de luz halógena e o laser por 20 s e 30 s obtiveram valores superiores a 80%, o LED obteve 78,8%. A partir da espessura de 2 mm todos aparelhos fotoativadores estudados obtiveram valores menores que 80% de dureza máxima (gráfico 5.8).

5.2 Grau de conversão

Os dados (Tabela 5.10) referentes ao grau de conversão correspondiam a 4 fontes fotoativadoras, 5 espessuras, 4 distâncias e 3 repetições para cada corpo-de-prova ($4 \times 5 \times 4 \times 3 = 240$).

Para a análise dos dados foi realizada a média das 3 medidas para cada corpo-de-prova, resultando um total de 240 dados (Tabela 5.10). Foram utilizados a análise de variância e teste de Tukey para a comparação entre as diferenças das médias dos grupos.

Tabela 5.10 – Valores de grau de conversão (%)

Fonte	distância	Espessura				
		0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
F40	0 mm	68,67	67,47	71,09	68,67	60,85
		69,27	72,29	67,4	71,09	62,66
		66,27	72,29	65,07	62,66	61,45
	3 mm	68,67	71,69	68,08	64,46	58,44
		68,08	69,88	70,49	66,87	57,84
		74,7	70,49	69,88	62,66	60,85
	6 mm	72,29	69,88	70,49	63,86	57,23
		63,86	60,85	71,09	63,26	60,85
		65,67	63,86	68,67	60,25	60,85
	9 mm	65,67	63,86	65,07	61,45	55,43
		65,67	65,67	66,27	53,02	56,03
		62,66	65,67	68,08	62,05	54,88
L20	0 mm	66,27	65,67	65,67	61,45	48,8
		74,7	68,67	66,87	60,25	53,02
		74,1	66,27	68,08	60,85	44,58
	3 mm	67,4	65,57	57,23	46,99	31,32
		62,66	63,26	64,46	56,03	39,76
		62,05	64,46	56,03	55,43	39,76
	6 mm	66,27	64,46	55,43	47,6	33,14
		65,07	62,66	53,62	42,17	29,52
		61,45	63,86	62,66	54,88	24,1
	9 mm	68,08	68,67	56,03	49,4	38,56
		68,67	62,66	57,23	48,2	22,29
		59,04	64,46	63,86	49,4	39,16
L30	0 mm	68,67	66,27	60,25	60,85	56,63
		69,88	69,88	65,07	64,46	62,05
		69,88	66,27	67,4	60,85	38,56
	3 mm	66,27	68,67	68,08	56,03	56,03
		74,7	64,46	67,4	62,05	50,61
		66,87	65,07	63,86	55,43	58,44
	6 mm	69,88	68,67	64,46	60,25	45,79
		70,49	69,88	63,86	62,66	46,39
		64,46	70,49	63,86	56,03	45,79
	9 mm	63,86	65,07	59,64	59,64	41,57
		61,45	65,07	65,07	56,63	41,57
		68,08	65,07	63,86	53,62	35,55
LED20	0 mm	66,87	68,67	68,08	70,49	65,67
		67,4	77,10	69,88	63,86	58,44
		67,4	72,29	74,7	69,27	66,87
	3 mm	65,07	65,57	68,08	68,08	57,23
		71,09	74,7	71,09	66,27	62,05
		68,08	68,67	67,4	63,86	60,85
	6 mm	65,07	69,88	67,4	60,85	53,02
		72,29	69,27	63,26	66,27	47,6
		70,49	65,67	68,67	60,25	45,19
	9 mm	67,4	63,86	66,27	62,66	47,6
		65,07	68,67	60,85	51,20	45,79
		62,66	62,66	62,05	57,84	48,2

A análise de variância (Quadro 5.2) mostrou haver diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% entre as distâncias ($F=43.09$), entre as espessuras ($F=205.73$), entre as fontes ($F=75.73$) e nas interações distância *versus* espessuras ($F= 3.41$), fontes *versus* distâncias ($F=4.58$), fontes *versus* espessuras ($F=12.06$) e distância *versus* espessuras *versus* fontes ($F=1.08$).

Fonte de Variação	SQ	G.L.	QM	(F)	Prob.(H0)
Entre distâncias	1663.7333	3	554.5778	43.09	0.000%*
Entre espessuras	10590.9170	4	2647.7292	205.73	0.000 % *
Entre fontes	2916.0667	3	972.0222	75.73	0.000 % *
Interação CxL	526.4330	12	43.8694	3.41	0.0331%
Interação BxC	530.1334	9	58.9037	4.58	0.0079%
Interação BxL	1862.9330	12	155.2444	12.06	0.000%*
Interação BxCxL	500.5336	36	13.9037	1.08	36.1940%
Resíduo	2059.1875	160	12.8699		
Variação total	20649.9375	239			

* estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p<0.05$)

Quadro 5.2 – Resultados da Análise de variância – grau de conversão

Foi calculado o Tukey ($T=12.60$) da interação distância *versus* espessuras *versus* fontes, para avaliar o comportamento dos grupos individualmente. Esses valores médios e seus respectivos desvios-padrões são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 5.11 – Valores médios de grau de conversão da interação distância *versus* espessuras *versus* fonte para fonte de luz halógena

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	68.07 $\pm$ 1.58	70.48 $\pm$ 3.16	67.27 $\pm$ 4.43	64.66 $\pm$ 1.73
1 mm	70.68 $\pm$ 2.78	70.68 $\pm$ 0.92	64.86 $\pm$ 4.59	65.06 $\pm$ 1.04
2 mm	67.85 $\pm$ 3.03	69.48 $\pm$ 1.25	70.08 $\pm$ 1.26	66.47 $\pm$ 1.51
3 mm	67.47 $\pm$ 4.34	64.66 $\pm$ 2.11	62.45 $\pm$ 1.93	58.84 $\pm$ 5.04
4 mm	61.65 $\pm$ 0.92	59.04 $\pm$ 1.59	59.64 $\pm$ 2.09	55.44 $\pm$ 0.57

Gráfico 5.9 – Interação distância x espessuras – Luz halógena (grau de conversão)

Analisando-se a tabela 5.11, verifica-se que, utilizando-se as distâncias de 0, 3, 6 e 9 mm, da ponta fotoativadora em relação à matriz de poliéster, não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de grau de conversão nas diferentes espessuras de resina estudadas.

O mesmo nota-se no gráfico 5.9 pela semelhança das inclinações das linhas.

Tabela 5.12 – Valores médios de grau de conversão da interação distância *versus* espessuras *versus* fonte para a fonte: laser de argônio por 20 s

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	71.69 $\pm$ 4.70	64.03 $\pm$ 2.92	64.26 $\pm$ 2.50	65.26 $\pm$ 5.39
1 mm	66.87 $\pm$ 1.58	64.43 $\pm$ 1.15	63.66 $\pm$ 0.91	65.26 $\pm$ 3.08
2 mm	66.87 $\pm$ 1.20	59.24 $\pm$ 4.56	57.23 $\pm$ 4.78	59.04 $\pm$ 4.21
3 mm	60.85 $\pm$ 0.6	52.81 $\pm$ 5.05	48.21 $\pm$ 6.37	49 $\pm$ 0.69
4 mm	48.8 $\pm$ 4.22	36.94 $\pm$ 4.87	28.92 $\pm$ 4.54	33.33 $\pm$ 9.57

Gráfico 5.10 – Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 20 s (grau de conversão)

Analisando-se os valores de grau de conversão para o laser de argônio por 20 s (tabela 5.12), nota-se que, utilizando-se as distâncias de 0 e 3 mm até 3 mm de espessura, não há diferença estatística (na distância de 3 mm, os valores em 3 mm de espessura foram menores que em 0 e 1 mm de espessura, mas semelhante a 2 mm), porém com 4 mm de espessura os valores foram estatisticamente menores. Nas distâncias de 6 e 9 mm não houve diferença até 2 mm de espessura, sendo que em espessuras de 3 mm os valores foram inferiores aos valores obtidos em 0 e 1

mm de espessura, porém semelhantes aos valores em 2 mm de espessura. Em 4 mm de espessura foram obtidos os menores valores de conversão.

Nota-se no gráfico 5.10 que, aumentando-se a distância da ponta fotoativadora, não há diferença estatística em até 2 mm de espessura de resina composta, porém a partir de 3 mm de espessura utilizando-se as distâncias de 6 e 9 mm os valores obtidos foram inferiores a 0 mm de distância.

Tabela 5.13 – Valores médios de grau de conversão da interação distância *versus* espessuras *versus* fonte para o laser de argônio por 30 s

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	69.47 $\pm$ 0.69	69.28 $\pm$ 4.70	68.27 $\pm$ 3.31	64.46 $\pm$ 3.35
1 mm	67.47 $\pm$ 2.08	66.06 $\pm$ 2.27	69.67 $\pm$ 0.92	65.07 $\pm$ 0
2 mm	64.24 $\pm$ 3.64	66.44 $\pm$ 2.26	64.06 $\pm$ 0.34	62.85 $\pm$ 2.85
3 mm	62.05 $\pm$ 2.08	57.83 $\pm$ 3.66	59.64 $\pm$ 3.35	56.63 $\pm$ 3.01
4 mm	52.41 $\pm$ 12.29	55.02 $\pm$ 4.01	45.99 $\pm$ 0.34	39.56 $\pm$ 3.47

Gráfico 5.11 – Interação distância x espessuras – Laser de Argônio por 30 s (grau de conversão)

Na tabela 5.13 nota-se que, para o laser de argônio por 30 s utilizando-se as distâncias de 0, 3, 6 e 9 mm, não houve diferença estatística nos valores de grau de

conversão até 3 mm de espessura de resina, mas com 4mm de espessura os valores foram inferiores.

O gráfico 5.11 mostra também que, pela inclinação semelhante das retas, mesmo aumentando-se a distância da ponta fotoativadora até 9 mm, não houve diferença estatística até 3 mm de espessura de resina. Em espessuras de 4 mm utilizando-se a distância de 9 mm, os valores de conversão foram inferiores aos valores obtidos nas distâncias de 0 e 3 mm, porém semelhantes aos obtidos ao utilizar a distância de 6 mm da ponta fotoativadora.

Tabela 5.14 – Valores médios de grau de conversão da interação distância *versus* espessuras *versus* fonte para a fonte LED

	0 mm	3 mm	6 mm	9 mm
0 mm	67.22 $\pm$ 0.30	68.08 $\pm$ 3.01	69.28 $\pm$ 3.75	65.04 $\pm$ 2.37
1 mm	72.68 $\pm$ 4.22	69.64 $\pm$ 4.64	68.27 $\pm$ 2.27	65.06 $\pm$ 3.18
2 mm	70.88 $\pm$ 3.42	68.85 $\pm$ 1.96	66.44 $\pm$ 2.82	63.05 $\pm$ 2.84
3 mm	67.87 $\pm$ 3.52	66.07 $\pm$ 2.11	62.45 $\pm$ 3.31	57.23 $\pm$ 4.75
4 mm	63.66 $\pm$ 4.56	60.04 $\pm$ 2.50	48.6 $\pm$ 4.01	47.19 $\pm$ 1.25

Gráfico 5.12 – Interação distância x espessuras – LED (grau de conversão)

Analisando-se a tabela 5.14 e o gráfico 5.12, referentes aos valores de grau de conversão para a fonte LED, observa-se não haver diferença estatística significativa entre os valores obtidos utilizando-se 0 e 3 mm de distância nas diferentes espessuras. Com 6 e 9 mm de distância da ponta fotoativadora, não há diferença até 3 mm de espessura, sendo que os valores de grau de conversão com 4mm de espessuras foram inferiores.

Aumentando-se a distância da ponta fotoativadora do LED até 9 mm não há diferença estatística no grau de conversão em espessuras de resina composta até 3 mm. Espessuras de 4 mm de resina mostraram valores inferiores quando a distância utilizada foi de 6 e 9 mm.

Para comparar as fontes entre si com relação aos valores de grau de conversão, foram analisadas as interações espessura *versus* fonte nas diferentes distâncias entre a ponta fotoativadora e a resina.

Tabela 5.15 – Valores médios de grau de conversão da interação espessura *versus* fontes na distância de 0 mm

	H40	L20	L30	LED20
0 mm	68.07 $\pm$ 1.58	71.69 $\pm$ 4.27	69.47 $\pm$ 0.69	67.22 $\pm$ 0.30
1 mm	70.68 $\pm$ 2.78	66.87 $\pm$ 1.58	67.47 $\pm$ 2.08	72.68 $\pm$ 4.22
2 mm	67.85 $\pm$ 3.03	66.87 $\pm$ 1.20	64.24 $\pm$ 3.64	70.88 $\pm$ 3.42
3 mm	67.47 $\pm$ 4.34	60.85 $\pm$ 0.6	62.05 $\pm$ 2.08	67.87 $\pm$ 3.52
4 mm	61.65 $\pm$ 0.92	48.8 $\pm$ 4.22	52.41 $\pm$ 12.29	63.66 $\pm$ 4.56

Gráfico 5.13 – Interação espessura X fonte – com 0mm de distância (grau de conversão)

Na Tabela 5.15 nota-se que, na distância de 0 mm da ponta fotoativadora até 3 mm de espessura, todos tipos de fontes de luz utilizados não mostraram diferença nos valores de grau de conversão. Porém, com espessura de resina de 4 mm, o laser por 20 s apresentou valores inferiores dos valores obtidos com a luz halógena e com o LED, sendo semelhante ao laser por 30 s, o que se pode observar também no gráfico 5.13 pelas inclinações das retas. Os valores obtidos com o laser por 30 s, por sua vez, não mostraram diferenças estatisticamente significantes dos obtidos com LED e halógena.

Tabela 5.16 – Valores médios de grau de conversão da interação espessura *versus* fontes na distância de 3 mm

	H40	L20	L30	LED20
0 mm	70.48 $\pm$ 3.66	64.03 $\pm$ 2.92	69.28 $\pm$ 4.70	68.08 $\pm$ 3.01
1 mm	70.68 $\pm$ 0.92	64.43 $\pm$ 1.15	66.06 $\pm$ 2.27	69.64 $\pm$ 4.64
2 mm	69.48 $\pm$ 1.25	59.24 $\pm$ 4.56	66.44 $\pm$ 2.26	68.85 $\pm$ 1.96
3 mm	64.66 $\pm$ 2.11	52.81 $\pm$ 5.05	57.83 $\pm$ 3.66	66.07 $\pm$ 2.11
4 mm	59.04 $\pm$ 1.59	36.94 $\pm$ 4.87	55.02 $\pm$ 4.01	60.04 $\pm$ 2.50

Gráfico 5.14 – Interação espessura X fonte – com 3 mm de distância (grau de conversão)

Ao utilizar a distância de 3 mm da ponta fotoativadora em relação à resina, observa-se na Tabela 5.16 que até 3 mm de espessura não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de grau de conversão obtidos pelas fontes de luz estudadas, com exceção do laser de argônio por 20 s que foi inferior ao LED na espessura de 3 mm de resina. Com espessuras de 4 mm de resina a luz halógena, o LED e o laser por 30 s foram semelhantes entre si, porém o laser por 20 s mostrou valores inferiores, como se pode notar no gráfico 5.14.

Tabela 5.17 – Valores médios de grau de conversão da interação espessura *versus* fontes na distância de 6 mm

	H40	L20	L30	LED20
0 mm	67.27 $\pm$ 4.43	64.26 $\pm$ 2.50	68.27 $\pm$ 3.31	69.28 $\pm$ 3.75
1 mm	64.86 $\pm$ 4.59	63.66 $\pm$ 0.91	69.67 $\pm$ 0.92	68.27 $\pm$ 2.27
2 mm	70.08 $\pm$ 1.26	57.23 $\pm$ 4.78	64.06 $\pm$ 0.34	66.44 $\pm$ 2.82
3 mm	62.45 $\pm$ 1.93	48.21 $\pm$ 6.37	59.64 $\pm$ 3.35	62.45 $\pm$ 3.31
4 mm	59.64 $\pm$ 2.09	28.92 $\pm$ 4.54	45.99 $\pm$ 0.34	48.6 $\pm$ 4.01

Gráfico 5.15 – Interação espessura X fonte – com 6 mm de distância (grau de conversão)

Na tabela 5.17 e no gráfico 5.15 observa-se que, ao utilizar a distância de 6 mm da ponta fotoativadora até a espessura de 2 mm, não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de grau de conversão obtidos pelas fontes de luz estudadas. Na espessura de 3 mm não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos com a luz halógena, o laser por 30 s e o LED. Os valores obtidos com o laser por 20 s, apesar de semelhantes aos do laser por 30 s foram inferiores aos obtidos com a luz halógena e o LED.

Na espessura de 4 mm de resina, os valores de grau de conversão da luz halógena não mostraram diferença significativa com os obtidos com LED, porém foram superiores aos obtidos com laser tanto por 20 s como por 30 s, sendo que não houve diferença estatisticamente significativa entre o laser por 30 s e o LED. O laser por 20 s mostrou valores inferiores às outras fontes de luz estudadas.

O gráfico 5.15 mostra, pela posição das retas, que a linha do laser por 20 s a partir de 1 mm de espessura tem uma inclinação maior.

Tabela 5.18 – Valores médios de grau de conversão da interação espessura *versus* fontes na distância de 9 mm

	H40	L20	L30	LED20
0 mm	64.66 $\pm$ 1.73	65.26 $\pm$ 5.39	64.46 $\pm$ 3.35	65.04 $\pm$ 2.37
1 mm	65.06 $\pm$ 1.04	65.26 $\pm$ 3.08	65.07 $\pm$ 0	65.06 $\pm$ 3.18
2 mm	66.47 $\pm$ 1.51	59.04 $\pm$ 4.21	62.85 $\pm$ 2.85	63.05 $\pm$ 2.84
3 mm	58.84 $\pm$ 5.04	49 $\pm$ 0.69	56.63 $\pm$ 3.01	57.23 $\pm$ 5.75
4 mm	55.44 $\pm$ 0.57	33.33 $\pm$ 9.57	39.56 $\pm$ 3.47	47.19 $\pm$ 1.25

Gráfico 5.16 – Interação espessura X fonte – com 9mm de distância (grau de conversão)

Ao utilizar 9 mm de distância da ponta fotoativadora, verifica-se na tabela 5.18 e no gráfico 5.16 que até a espessura de 3 mm não houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes. Na espessura de 4 mm a luz halógena foi semelhante ao LED e superior ao laser de argônio por 20 s e por 30 s, sendo que o LED e o laser por 30 s foram semelhantes entre si. O laser por 20 s apesar de inferior à luz halógena e ao LED foi semelhante ao laser por 30 s.

5.3 Correlação entre microdureza Vickers e Grau de conversão

Após a análise da microdureza e do grau de conversão separadamente, optou-se por estudar o nível de correlação entre essas duas variáveis.

Esse estudo foi realizado por meio do teste de correlação de Pearson com auxílio do software BioEstat 3.0.

Para esse cálculo foram utilizadas as médias de microdureza a cada grupo e correlacionadas com as médias do grau de conversão do grupo correspondente, sendo então utilizados um total de 80 pares de dados.

Os resultados do teste (tabela 5.19) mostraram haver um alto grau de correlação direta entre a microdureza e o grau de conversão com o valor de $r=0,8580$ ($p \leq 0,01$). Isso pode ser visualizado no gráfico 5.17, onde todos os valores são muito próximos da reta ascendente, ou seja, quanto maior a microdureza, maior o grau de conversão.

Tabela 5.19 – Valores de correlação entre os valores de microdureza e grau de conversão

Teste de correlação linear	Colunas 1 e 2
n (pares) =	80
r (Pearson) =	0.8580
IC 95% =	0.79 a 0.91
IC 99% =	0.76 a 0.92
R ² =	0.7361
t =	14.7505
GL =	78
(p) =	0.0000

Gráfico 5.17 – Correlação entre os valores de microdureza e grau de conversão

Também foi avaliada a correlação entre a PDM e o grau de conversão pelo mesmo teste, utilizando-se também os 80 pares correspondentes aos 80 grupos avaliados.

Os resultados do teste (tabela 5.20) mostraram também haver correlação direta entre a PDM e o grau de conversão com o valor de $r=0,8578$ ($p \leq 0,01$). Do mesmo modo que no gráfico anterior, no gráfico 5.18, os valores são muito próximos da reta ascendente, ou seja, quanto maior a PDM maior o grau de conversão.

Tabela 5.20 – Valores de correlação entre os valores de microdureza e grau de conversão

Teste de correlação linear	Colunas 3 e 2
n (pares) =	80
r (Pearson) =	0.8578
IC 95% =	0.79 a 0.91
IC 99% =	0.76 a 0.92
R2 =	0.7358
t =	14.7377
GL =	78
(p) =	0.0000

Gráfico 5.18 – Correlação entre os valores de PDM e grau de conversão

6 DISCUSSÃO

Os aparelhos de fotoativação de resinas compostas atuais apresentam algumas vantagens sobre os sistemas anteriormente utilizados, porém, embora a taxa de polimerização tenha sido aprimorada, ainda não atingiu níveis ideais. Com o objetivo de incrementar a fotoativação, ou seja, melhorar as propriedades das resinas fotoativadas, diminuir o tempo de ativação e para com isso otimizar o tempo de trabalho, vários tipos de aparelhos têm sido sugeridos (CONSANI et al., 2002; WIGGINS et al., 2004). Atualmente, o profissional tem à disposição no mercado uma diversidade de aparelhos fotoativadores como: os aparelhos de luz halógena convencional, arco de plasma, os diodos emissores de luz (LED) e o laser de argônio.

Além dos diferentes aparelhos fotoativadores, técnicas alternativas de fotopolimerização têm sido sugeridas com intenção de minimizar deficiências como a contração de polimerização ou o insuficiente grau de polimerização (HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002).

A extensão da polimerização após a introdução das resinas compostas fotopolimerizáveis passou a ser um dos principais alvos das pesquisas, pois a conversão está principalmente associada às propriedades físico-mecânicas da resina que são responsáveis pela *performance* final e durabilidade das restaurações dentais, como por exemplo: módulo de elasticidade, resistência à compressão, resistência ao cisalhamento, resistência à tração, resistência flexural, resistência ao desgaste e dureza.

Ao melhorar essas propriedades obtém-se restaurações mais resistentes ao

desgaste oclusal, mais resistentes à fratura por esforços mastigatórios e mais aderidas às superfícies dentárias, o que fornece melhor proteção ao remanescente dentário, menor infiltração e maior durabilidade (ABATE; ZAHRA; MACCHI, 2001; CORRER SOBRINHO et al., 2000; DeWALD; FERRACANE, 1987; HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002; HANSEN; ASMUSSEN, 1997; KANCA^{3rd}, 1985; LEONARD et al., 2001; MANDARINO et al., 1992; MASUDA; MALUF; MUENCH, 1999; NEVES et al., 2002; PILO; CARDASH, 1992; PIRES et al., 1993; RUEGGERBERG; CAUGHMAN; CURTIS Jr., 1994; SANTOS et al., 2000; TURBINO; SANTOS; MATSON, 2000; WATTS; AMER; COMBE, 1984; WATTS; AMER; COMBE, 1987; YAP; WONG; SIOW, 2003).

De acordo com DeWald e Ferracane (1987), a avaliação do grau de polimerização de um material composto pode ser feita através de quatro métodos: óptico, de desgaste, dureza e grau de conversão, porém os dois primeiros superestimam a profundidade de polimerização, quando comparados com os outros.

Um dos métodos indiretos mais utilizados para se verificar o grau de polimerização das resinas compostas é o teste de dureza (ABATE; ZAHRA; MACCHI, 2001; AGUIAR et al., 2005; ATMADJA; BRYANT, 1990; CALDAS et al., 2003; MANGA; CHARLTON; WAKEFIELD, 1995; CHUNG; GREENER, 1990; CONSANI et al., 2002; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; ELIADES; VOUGIOUKLASKIS; CAPUTO, 1987; ERSOY et al., 2004; FERRACANE, 1985; FERRACANE; GREENER, 1986; HANSEN; ASMUSSEN, 1997; KANCA^{3rd}, 1985; KNOBLOCH et al., 2004; MANDARINO et al., 1992; MASUDA; MALUF; MUENCH, 1999; MARTINS et al., 2002; NAUFEL; YOUSSEF; TURBINO, 2005; NEVES et al., 2002; PERIS et al., 2005; PILO; CARDASH, 1992; PIRES et al., 1993; PRICE; FELIX; ANDREOU, 2004; RAMOS; GARONE NETTO; BURGER, 2003; RODE et al.,

2001; RODE et al., 2005; RYGE; FOLEY; FAIRHURST, 1961; SANTOS, 2003; SAY et al., 2003; UMBEHAUN, 2001; WATTS; AMER; COMBE, 1987).

A dureza é uma propriedade empregada para predizer a resistência à penetração de um material e sua capacidade de desgastar estruturas dentais opostas. Os testes de dureza são incluídos em várias especificações da *American Dental Association* (ADA) para os materiais dentários. A maioria dos testes de dureza 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 (ANUSAVICE, 2005). Os testes mais utilizados para se determinar a dureza de materiais dentários são conhecidos pelos nomes de Barcol, Brinell, Rockwell, Shore, Vickers e Knoop (ANUSAVICE, 2005; YEARN, 1985).

No teste de dureza Vickers, uma ponta de diamante com a forma de uma pirâmide de base quadrada é comprimida na superfície polida de um material, sob uma carga determinada. A carga é dividida pela área de penetração, os comprimentos das diagonais da penetração são medidos e as médias são calculadas, e quanto menor a penetração, maior a dureza do material (ANUSAVICE, 2005).

Os parâmetros da calibração da dureza do aparelho foram 50 gf de carga e 45 s de tempo de manutenção da carga. A carga de 50 gf foi baseada em trabalhos anteriores (BELAN, 2004; NAUFEL; YOUSSEF; TURBINO, 2005; RAMOS; GARONE NETTO; BURGER, 2003; TURBINO, 2004; UMBEHAUN, 2001), sendo compatível com a resistência à penetração da resina composta. O tempo de 45 s foi utilizado seguindo-se orientações técnicas do aparelho, com a intenção de assegurar a definição da marca após a deformação plástica do material. Com tempo muito curto, corre-se o risco de superestimar a dureza, ou seja, devido à deformação

elástica, pode haver um retorno do material ao remover a carga do penetrador, diminuindo os tamanhos finais das diagonais do quadrado marcado na superfície que está sendo medida (TURBINO, 2004).

Os parâmetros utilizados para as medidas de dureza variam muito dentro da literatura. Por isso, pode-se deduzir que é complicado comparar valores de dureza entre diferentes trabalhos que usaram parâmetros diferentes, porém dentro de uma mesma pesquisa, a hierarquia dos dados é mantida, independentemente das cargas, então se pode comparar resultados de maneira geral e não pelos valores absolutos das durezas (TURBINO, 2004).

O método direto, de análise do grau de conversão, por meio da espectroscopia vibracional também tem sido utilizado para se verificar o grau de polimerização da resina composta (CHUNG; GREENER, 1990; ELIADES, VOUGIOUKLASKIS; CAPUTO, 1987; FERRACANE, 1985; FERRACANE; GREENER, 1986; HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002; KNOBLOCH et al., 2004; LOHBAUER et al., 2005; NEVES et al., 2002; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005; PIANELLI et al., 1999; SANTOS, 2003; SHIN et al., 1993; SOH et al., 2004; TSUDA; ARENDS, 1997; YOON et al., 2002).

O grau de conversão é uma medida do percentual de duplas ligações de carbono que foram convertidas em ligações simples de carbono para formar uma resina polimérica. Quanto maior o grau de conversão, melhores as propriedades mecânicas, a resistência ao desgaste e outras propriedades. Uma conversão de 50 a 60%, típica de resinas compostas à base de Bis-GMA, significa que 50 a 60% dos grupamentos metacrilatos foram polimerizados. Mas, isto não significa que sobraram 40 a 50% de moléculas de monômeros, pois um dos grupamentos de metacrilatos pode reagir e se ligar de forma covalente com a estrutura do polímero. De maneira

geral, valores de conversão de 50 a 70% são atingidos em temperatura ambiente para as resinas compostas (ANUSAVICE, 2005).

Os métodos vibracionais de espectroscopia FTIR (“Fourier Transformed Infrared”) e Raman têm sido tradicionalmente usados para se determinar o grau de conversão de resinas compostas. As duas técnicas são chamadas de técnicas vibracionais, sensíveis ao modo vibracional das moléculas. A principal vantagem da técnica Raman é que o material a ser investigado não precisa de nenhuma preparação, isto é, modificação ou destruição (SHIN et al., 1993; TSUDA; ARENDS, 1997). A espectroscopia Raman estuda a vibração dos átomos nas moléculas. Incidindo-se uma radiação laser sobre uma amostra determina-se que fração da radiação incidente é espalhada em uma energia particular.

Esses métodos permitem avaliar a porcentagem de grupos vinílicos convertidos em alifáticos (grau de conversão), comparando-se as bandas vibracionais dos metacrilatos residuais não polimerizados C=C a 1640 cm^{-1} com a banda C=C aromática a 1610 cm^{-1} (PIANELLI et al., 1999).

Apesar de as duas técnicas serem vibracionais, as moléculas são excitadas por meio de uma radiação. A diferença entre as duas técnicas está no modo que a energia do fóton é transmitida para a molécula. Enquanto a espectroscopia FTIR é uma técnica de absorção, a técnica Raman é um método de espalhamento (PIANELLI et al., 1999).

Inicialmente a técnica Raman tinha pouca sensibilidade e apresentava interferência da fluorescência da resina no sinal de interesse. Foi desenvolvida então uma técnica híbrida chamada espectroscopia FT-Raman, em que um laser infravermelho é utilizado como fonte de excitação. Essa técnica apresenta mais vantagens, pois podem ser analisadas amostras de qualquer espessura e geometria,

algumas partículas como as de sílica não interferem mais na curva usada para o cálculo de conversão e é mais sensível à vibração C=C dos dimetacrilatos (SHIN et al., 1993).

Para estudar a fotoativação de diferentes espessuras de uma resina composta fotoativada com laser de argônio, LED e com a luz halógena, optou-se, nesse trabalho, por utilizar os testes de microdureza Vickers e da espectroscopia FT-Raman.

Alguns cuidados foram tomados durante a execução da metodologia deste estudo, para se evitar que vários fatores pudessem influenciar na polimerização de um determinado material, o que afetaria a eficiência dos compósitos (YEARN, 1985) e do teste de análise utilizado.

Turbino, Santos e Matson (2000) recomendam que, quando se pretende avaliar fatores que sofrem influência da luz como profundidade de polimerização e técnica de inserção, deve se usar matrizes escuras, assim os corpos-de-prova foram confeccionados em matrizes de polipropileno pretas e sobre cartolina preta, para avaliar especificamente a ação da irradiação da luz sem os fatores de reflexão ou translucência que poderiam ser possíveis com matrizes, por exemplo, brancas (RUEGGERBERG; ERGLE; METTENBURG, 2000; TURBINO; SANTOS; MATSON, 2000).

O tamanho do diâmetro externo das matrizes era de 8 mm, que era menor que os diâmetros das pontas dos três aparelhos fotoativadores, o que facilitava a visualização e o controle do posicionamento das pontas perpendicularmente a elas e centralizadas com o centro do corpo-de-prova. O diâmetro interno de 4 mm foi suficiente para as cinco identações da microdureza (BELAN, 2004; TURBINO, 2004).

Para as medições de microdureza Vickers ou Knoop há necessidade que a superfície seja lisa e paralela ao plano horizontal (SOUZA, 1982). Essa lisura pode ser obtida por polimento da superfície (MANDARINO et al., 1992; RUEGGERBERG; ERGLE; METTENBURG, 2000) ou pelo uso de uma tira de poliéster sobre a superfície da resina a ser irradiada, que tem a finalidade de aplainar, promover lisura e evitar a formação da camada de dispersão na superfície da resina a ser medida (WATTS; AMER; COMBE, 1984; ATMADJA; BRYANT, 1990; NEVES et al., 2002; PERIS et al., 2005). Neste estudo, optou-se pelo uso da tira de poliéster, que ainda foi coberta com uma lâmina de vidro. No fundo também era posicionada uma lâmina de vidro com a mesma finalidade (LEONARD et al., 2001; BELAN, 2004; TURBINO. 2004; ARAVAMUDHAN; RAKOWSKI; FAN, 2006).

Outro fator que pode interferir nos resultados do grau de polimerização e que foi levado em consideração foi a intensidade da luz emitida. Rueggeberg, Caughman e Curtis Jr. (1994) recomendam que o ideal para incrementos de 1 mm é polimerizar com uma intensidade mínima de 400 mW/cm^2 . Manga, Charlton e Wakefield (1995) concluíram que o valor de 300 mW/cm^2 no radiômetro é muito baixo para polimerizar adequadamente resinas compostas, enquanto que Fan et al. (2002) mostraram que 300 mW/cm^2 é suficiente desde que observado o tempo recomendado pelo fabricante. Segundo Tate, Porter e Dosh (1999), a intensidade da luz de polimerização é medida em densidade de potência (mW/cm^2) e pode afetar as propriedades físicas dos compósitos, como a adesão, sendo que é indicado o mínimo de 400 mW/cm^2 para polimerizar resinas compostas.

O aparelho de laser AccuCure 3000 permite que se regule a potência desejada, por isso possui um *display* que marca a exata potência gerada no momento da utilização. Foi utilizada então a potência de 250 mW, apesar de a

orientação do fabricante do laser indicar para a resina Z-100 (que é a precursora da Z-250) o uso de 150 mW. Na literatura ainda há controvérsia quanto aos valores de potência necessários para fotoativar as resinas compostas e há uma grande dificuldade na definição desses parâmetros, mas muitos dos trabalhos utilizam potências de 250 mW ou maiores. Vargas, Cobb e Schimit (1998) utilizaram o laser com potência de 265 mW. Aw e Nicholls (1997) utilizaram 300 mW. Cobb, Vargas e Rundle (1996) indicaram potência de 285 mW (1000 mW/cm^2). E em pesquisas mais recentes (SANTOS, 2002; RODE; LLORET; TURBINO, 2005) a potência de 150mW foi testada e não apresentou resultados vantajosos do laser em relação à luz halógena. No trabalho de Turbino (2004) o laser apenas polimerizou satisfatoriamente quando utilizado na potência de 250 mW.

Os tempos de fotoativação de 20 s e 30 s utilizados para o laser de argônio foram com base no trabalho de Turbino (2004), que mostrou nos resultados semelhança nos valores de dureza em 1 mm de espessura, mas apenas com 30 s ocorreu uma polimerização mais satisfatória. Além disso, foi estudado também o tempo de 20 s, pois segundo Brenneise e Blankenau (1997) o laser de argônio utilizado por 30 s em uma potência de 231 mW pode causar danos nos tecidos adjacentes, apesar de Powell, Morton e Whisenant (1993) afirmarem que não ultrapassando a 1W, não existem inconvenientes para o seu uso.

Foi utilizado então uma potência de 250 mW, com uma ponta com 12 mm de diâmetro, com imagem formada ("spot size") de 6 mm. Utilizando a fórmula da intensidade: $P/\text{área} (\text{mW/cm}^2)$, obteve-se o valor de: $892,85 \text{ mW/cm}^2$.

Para o aparelho de luz halógena Degulux, a intensidade gerada foi medida através de um radiômetro, pois de acordo com Friedman e Hassan (1984), Pires *et al.* (1993), Manga, Charlton e Wakefield (1995) e Tate, Porter e Dosh (1999), ele é

um instrumento eficaz e seguro na aferição rápida da intensidade (densidade de potência) gerada por aparelhos fotoativadores. A intensidade obtida foi de 500 mW/cm². O tempo utilizado foi de 40 s, pois apesar de o fabricante recomendar 20 s, resultados anteriores (RODE; LLORET; TURBINO, 2005; SANTOS et al., 2000; TURBINO, 2004) mostraram que 40 s foi melhor que 20 s e também muitos trabalhos sobre polimerização usam como controle, a fotoativação com luz halógena por 40 s (BALA; ÖLMEZ; KALAYCI, 2005; COBB; VARGAS; RUNDLE, 1996; CONSANI et al., 2002; CORRER SOBRINHO et al., 2000; DUNN; BUSH, 2002; HANSEN; ASMUSSEN, 1997; LELOUP et al., 2002; LOHBAUER et al., 2005; MANGA; CHARLTON; WAKEFIELD, 1995; MARTINS et al., 2002; PERIS et al., 2005; PIRES et al., 1993; PRICE et al., 2002; SANTOS, 2003; SOH et al., 2004; ST-GEORGES et al., 2002; UNTERBRINK; MUESSNER, 1995; VARGAS; COBB; SCHIMIT, 1998; YAP et al., 2004).

O aparelho LED utilizado possui um medidor de intensidade na base do aparelho, que mostra apenas em porcentagem de 0 a 100%, e segundo o fabricante a intensidade desse aparelho é cerca de 1000 mW/cm². A intensidade obtida, ao utilizar um radiômetro específico para LEDs foi de 900 mW/cm². O tempo de fotoativação com o LED Elipar Freelight 2 foi a metade do tempo utilizado para a luz halógena, isto é 20 s, segundo recomendações do fabricante do aparelho.

Alguns trabalhos mostram haver influência da cor da resina composta na dureza do compósito (AGUIAR et al., 2005; ERSOY et al., 2004; FRIEDMAN; HASSAN, 1984; LELOUP et al., 2002; MANDARINO et al., 1992; RISSI; CABRAL, 2002), apesar de alguns afirmarem que a cor não foi fator determinante na dureza (MARTINS et al., 2002; RUEGGEBERG; CAUGHMAN; CURTIS JR, 1994). A cor da resina selecionada foi a A3, uma cor universal. Optou-se por avaliar sempre a

mesma cor, e todas as bisnagas do mesmo lote (5RB) para se ter certeza que todas eram exatamente iguais e com isso evitar influências nos valores de microdureza.

Após a polimerização, os corpos-de-prova foram armazenados por 7 dias em recipiente protegido da luz e a 37°C. O tempo de 7 dias justifica-se pelo fato de que após a aplicação da luz, a resina ainda tem apresentado aumento nos valores de dureza por 24 horas ou 7 dias (ATMADJA; BRYANT, 1990; MASUDA; MALUF; MUENCH, 1999; PILO; CARDASHI, 1992; PRICE et al., 2002; WATTS; AMER; COMBE, 1987). Esse armazenamento foi feito a seco, pois segundo Watts, Amer e Combe (1987) as superfícies dos corpos-de-prova apresentaram valores menores quando armazenados em água, e isso poderia ter sido causado pela absorção de água pelo material. Como a microdureza é uma propriedade de superfície, os efeitos da absorção são percebidos mais rapidamente que no corpo do material. No caso deste estudo, apesar de serem feitas medidas nas superfícies dos corpos-de-prova, essas regiões representavam diferentes profundidades do corpo da resina, então essa diminuição dos valores poderia levar a uma interpretação errada no final, daí a escolha do armazenamento a seco (TURBINO, 2004).

Segundo Rissi e Cabral (2002) há uma redução crescente da intensidade de luz em função do aumento da distância da fonte de luz. O efeito da distância da ponta dos aparelhos fotoativadores ainda é controverso na literatura.

Nos estudos onde esse efeito foi avaliado pelo método indireto (microdureza), enquanto alguns autores constataram que para o laser de argônio (FLEMING; MAILLET, 1999; LLORET et al., 2001; RODE et al., 2001) e para a luz halógena (ABATE; ZAHRA; MACCHI, 2001) a distância entre a fonte de luz e a superfície da resina não interfere nos resultados de dureza, outros mostraram que com a luz halógena (CORRER-SOBRINHO et al., 2000; KANCA^{3rd}, 1985; PIRES et al., 1993;

TATE; PORTER; DOSCH, 1999; YEARN, 1985) e com o LED (RAMOS; GARONE NETTO; BURGER, 2003), o aumento da distância da ponta fotoativadora diminui a extensão da profundidade de polimerização.

O efeito, tanto no grau de conversão como na microdureza de uma resina composta, causados por interferências na fotoativação decorrentes de fatores clínicos tem grande importância no resultado final de uma restauração. Isso fica evidente em cavidades classe II, por exemplo, em que não é possível posicionar a ponta fotoativadora bem próxima dos primeiros incrementos da resina ou ainda em cavidades profundas.

Neste trabalho em relação à luz halógena até 1 mm de espessura o aumento da distância entre a ponta fotoativadora e a superfície da resina não mostrou diferença na microdureza, porém a partir dessa espessura as distâncias de 6 e 9 mm influenciaram os valores de dureza. O que está de acordo com os trabalhos de Aguiar et al. (2005), Correr-Sobrinho et al. (2000), Kanca^{3rd} (1985), Pires et al. (1993) e Ramos, Garone Netto e Burger (2003) que mostraram uma diminuição nos valores de microdureza com o aumento da distância da ponta fotoativadora.

Alguns estudos mostraram que para o laser de argônio não há interferência nos resultados com aumento das distâncias de até 6mm (LLORET et al., 2001; RODE et al., 2001). Neste trabalho o laser de argônio, tanto por 20 s como por 30 s, também não mostrou influência do aumento da distância da ponta fotoativadora, em espessuras de até 2 mm de resina composta. Mas, a resina composta com espessuras a partir de 3 mm, fotoativadas com o laser por 20 s mostrou uma diminuição na microdureza ao utilizar distâncias de 6 e 9 mm. E com o laser de argônio por 30 s essa diminuição foi em espessuras de 4 mm, também quando a distância da ponta foi aumentada para 6 ou 9 mm. A diferença entre esses

resultados obtidos com os dos demais trabalhos, poderia ser pelo fato das potências utilizadas terem sido diferentes das que foram usadas nos outros trabalhos e também das diferentes espessuras estudadas.

Com relação ao aparelho LED, segundo alguns trabalhos, conforme aumenta a distância da ponta fotoativadora do LED diminui sua potência (BENNETT; WATTS, 2004; FELIX; PRICE; ANDREOU, 2006; MEYER; ERNST; WILLERSHAUSEN, 2002) e os valores da microdureza da resina composta (FELIX; PRICE; ANDREOU, 2006; RAMOS; GARONE NETTO; BURGER, 2003). Os resultados apontaram que as distâncias de 0 e 3 mm não mostraram diferença estatística nas diferentes espessuras de resina estudadas. Porém, as distâncias de 6 e 9 mm mostraram valores de dureza menores.

Em alguns trabalhos, a influência do fator distância da ponta do aparelho foi também estudada pelo método direto de avaliação por espectroscopia, entre eles o FTIR e o Raman, porém os resultados também são controversos. Enquanto Leloup et al. (2002), ao estudar o efeito da distância da ponta fotoativadora, por meio do grau de conversão das resinas composta, mostraram que até 10 mm de distância da ponta não há diferença estatística no grau de conversão da resina em espessuras menores que 3 mm, Rueggeberg e Jordan (1993) mostraram que há uma diminuição no grau de conversão a partir de 4 mm de distância em espessura acima de 2 mm. Fróes (2005), que avaliou o grau de conversão e a microinfiltração só encontrou aumento significativo na microinfiltração de 0 para 7 mm de distância, e ainda segundo Lindberg, Emani e Dijken (2005) o aumento da distância de 0 para 7 mm causou uma redução de menos de 10% no grau de conversão da resina.

Neste trabalho, com a luz halógena, e avaliando-se o grau de conversão não houve diferença estatística entre as distâncias estudadas, concordando com Leloup et al. (2002) que não encontraram diferença abaixo de 10 mm de distância.

Analisando-se os resultados do grupo com o LED nas distâncias de 6 e 9 mm houve uma diminuição no grau de conversão nas espessuras de 3 e 4 mm, concordando-se em parte com Lindberg, Emani e Dijken (2005) em que houve uma pequena redução nos valores de conversão, porém eles só estudaram as distâncias de 0 e 7 mm.

Os resultados do grupo em que foi usado o laser por 20 s mostram que houve uma diminuição no grau de conversão em espessuras a partir de 3 mm, nas distâncias de 0 e 3 mm e a partir de 2 mm nas distâncias de 6 e 9 mm. Com o laser por 30 segundos, a partir de 3 mm de espessura, em todas as distâncias houve uma queda no grau de conversão, ou seja, o laser por 30 s mostrou resultados superiores ao laser por 20 s, sugerindo que 20 s realmente é insuficiente, principalmente se houver distanciamento da ponta fotoativadora.

As diferenças nos resultados das diferentes fontes, nas diferentes distâncias e espessuras, poderiam ser explicadas pelo comportamento de cada material e de cada sistema de fotoativação, em relação às condições de polimerização que, segundo Halvorson, Erickson e Davidson (2002) dependem dentre outros fatores do sistema de fotoativação utilizado.

Pode-se notar, ao avaliar os valores obtidos de grau de conversão, que foi encontrada uma pequena variação em comparação aos resultados de microdureza. Isto poderia ser explicada pelo fato de que, como foi utilizado o dobro do tempo de irradiação recomendado pelo fabricante do material, tanto para a luz halógena como para o LED, teria levado a saturação na conversão (FRÓES, 2005).

Outro fator que poderia explicar essa diferença, seria também o fato de, tanto a análise da microdureza como do grau de conversão, terem sido feitas depois de 7 dias da confecção das amostras, e não logo em seguida à confecção. Pois, segundo o trabalho de Pianelli et al. (1999), a espectroscopia não conseguiu detectar pequenas evoluções na concentração de duplas ligações durante a pós-polimerização, sendo a dureza mais sensível do que a técnica de espectroscopia para seguir pequenas mudanças no grau de conversão quando a rede já está cheia de ligações cruzadas.

Para se avaliar a qualidade de polimerização em relação à dureza máxima em cada distância, foi calculada também a porcentagem de dureza máxima (PDM). A principal comparação foi feita entre as fontes, em cada distância, e para isso foi utilizado o parâmetro da dureza em cada profundidade, dividida pela dureza máxima do material, obtendo-se a porcentagem de dureza máxima, denominada PDM (BELAN, 2004; TURBINO, 2004; RODE; LLORET; TURBINO, 2005).

O cálculo dessa porcentagem de dureza máxima teve como base o trabalho de Watts, Amer e Combe (1984) que, na tentativa de comparar a *performance* em dureza e profundidade de polimerização de várias resinas e várias fontes de luz, criaram parâmetros de normalização entre os resultados de dureza, eliminando fatores inerentes à composição de cada resina. Com esses parâmetros que eram em função do gráfico da curva de correlação entre dureza e profundidade, detectaram que os dois principais fatores relacionados com a profundidade de polimerização eram: 1- profundidade em que cada material atingia 80% da dureza máxima, 2- área total sob a curva de correlação dividida pela dureza máxima.

Vários autores consideram que a polimerização pode ser considerada adequada, até onde se consegue pelo menos 80% de dureza máxima do material

(LEONARD et al., 2001; MANGA; CHARLTON; WAKEFIELD, 1995; PILO; CARDASH, 1992; PRICE; FELIX; ANDREOU, 2003; TURBINO, 2004; UMBEHAUN, 2001; WATTS; AMER; COMBE, 1984). Outros pesquisadores sugeriram um valor de 90%, com base em um modelo matemático de polimerização no decorrer do tempo (DEWALD; FERRACANE, 1987; PILO; CARDASH, 1992).

Nos resultados obtidos dessa análise, utilizando-se as distâncias de 0 mm (encostando-se a ponta na superfície da resina composta) ou 3 mm, o LED e a luz halógena obtiveram resultados semelhantes, isto é, ambas as fontes conseguiram uma polimerização satisfatória (mantiveram 80% da dureza máxima) até 2 mm de espessura, e superiores ao laser de argônio (por 20 s e 30 s) que obtiveram acima de 80% de dureza máxima, apenas até 1 mm de espessura. Ao utilizar a distância de 6 mm, o LED e a luz halógena também mostraram resultados comparáveis, mostrando uma polimerização satisfatória somente até 1 mm de espessura, e também foram superiores ao laser que, com 1 mm de espessura, já mostrou valores menores que 80% da dureza máxima. Com 9 mm de distância, a luz halógena mostrou resultados semelhantes que com 6mm de distância, porém o LED apesar de mostrar 78,8% de dureza máxima, já não conseguiu uma polimerização satisfatória em 1 mm de espessura.

Esses resultados concordam com a literatura, que tem mostrado que o desempenho dos aparelhos LEDs atuais ou de segunda geração, como chamam alguns autores, tem sido semelhante aos aparelhos de luz halógena (FELIX; PRICE; ANDREOU, 2006; LINDBERG; EMAMI; DIJKEN, 2005; SHORTALL, 2005).

Os resultados entre o LED e a luz halógena são coincidentes com Felix, Price e Andreou (2006) que indicaram que, utilizando a distância de 9 mm, a luz halógena foi melhor que o LED, mas com uma distância menor da ponta (2 mm) o LED e a luz

halógena foram equivalentes. E concordam também com Bennett e Watts (2004) em que, em distâncias maiores da ponta fototivadora, a luz halógena teve um desempenho superior.

Em relação ao laser, utilizando-se as distâncias de 0, 3 e 6 mm os resultados foram inferiores aos resultados obtidos com o LED e a luz halógena, o que está de acordo com alguns estudos em que os resultados do laser foram inferiores aos da luz halógena (BELAN, 2004; COBB; VARGAS; RUNDLE, 1996; RODE; LLORET; TURBINO, 2005; ST-GEORGES et al., 2002; TURBINO, 2004). Uma explicação do motivo do laser ser ineficiente seria devido à distância do comprimento de onda de 488 nm dos 470 nm que é o máximo da absorção da canforquinona (BURGESS et al., 2000; HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002).

Nos estudos em que o laser de argônio foi superior à luz halógena (DOCKTOR, 1994; FLEMING; MAILLET, 1999; KELSEY^{3rd} et al., 1989; KUTSCH, 1993; NAUFEL; YOUSSEF; TURBINO, 2005; PICK, 1993; WAKININE; CIPOLLA, 1995) foram utilizadas potências maiores que as utilizadas nesse estudo, sendo que foi utilizada a maior potência possível para o aparelho.

Porém, utilizando-se a distância de 9 mm da ponta fotoativadora o laser mostrou resultados semelhantes à luz halógena e até superiores ao LED, o que poderia ser explicado pelo fato do laser ser uma luz mais colimada; em distâncias maiores da ponta fotoativadora, as outras fontes seriam mais afetadas pela distância do que o laser. E, apesar de alguns estudos mostrarem que para o laser não há interferência na dureza com distâncias de até 6 mm (RODE et al., 2001). Wakinine e Cipolla (1995) detectaram que a melhor polimerização com o laser foi utilizando-se a distância de 4 mm da ponta até a resina. Neste trabalho, com relação à porcentagem de dureza máxima, o laser não mostrou diferença entre as distâncias de 0 e 3 mm

ou seja, manteve 80% de dureza máxima até 1 mm de espessura, mas com 6mm os resultados foram inferiores e apenas na superfície irradiada (0 mm de espessura) obteve 80% de dureza máxima.

Para todas as fontes estudadas, a microdureza diminui com o aumento da distância da ponta fotoativadora, porém em algumas situações clínicas, dependendo da posição ou da profundidade da cavidade a ser restaurada, a distância entre a ponta fotoativadora e a superfície da resina não pode ser controlada, ou seja, nem sempre se consegue encostar a ponta na superfície da resina que será fotoativada. Com base nos resultados desse estudo deve-se tentar colocar a ponta do fotoativador o mais próximo possível da resina composta, evitando-se distâncias da ponta de 6 mm ou mais.

E como nos resultados de uma maneira geral, o aumento da distância da ponta fotoativadora não afetou a polimerização da resina composta em espessuras de até 1mm de resina, pode-se sugerir que ao fotoativar uma restauração onde se tenha uma dificuldade de acesso, isto é, não se consiga encostar na superfície da resina, como em casos de cavidades muito profundas e de classe II, ou ainda em casos onde a presença da matriz impede o acesso, os incrementos não podem ser superiores a 1 mm de espessura para se ter segurança que foi polimerizado satisfatoriamente.

Porém, deve-se levar em conta também o fato de que cada aparelho fotoativador utilizado mostrou um comportamento diferente. A luz halógena, por exemplo, em distâncias maiores da ponta fotoativadora, teve um desempenho superior às outras fontes de luz estudadas. Portanto, conforme a fonte de luz utilizada, os procedimentos devem ser específicos.

Levando-se em consideração o desempenho de cada fonte utilizada nesse estudo, pode-se sugerir que a fonte de luz halógena e o LED são as melhores em relação ao custo-benefício. O LED apesar de ter um custo maior e de ter mostrado um desempenho semelhante à luz halógena, o tempo utilizado para fotoativação foi a metade do tempo utilizado para a luz halógena. Além de apresentar maior durabilidade, o fato de ser portátil e mais leve representa outra vantagem do LED. O laser de argônio por sua vez, comparado aos outros aparelhos estudados foi inferior, além de ter um custo muito alto, ser maior e mais pesado.

Este estudo foi realizado apenas com um tipo de resina composta, e sabe-se que a composição da resina também influencia nos resultados da fotoativação. Por isso, para se ter uma abrangência dos resultados e assim indicar ou não determinado tipo de aparelho com mais segurança seria necessário utilizar uma maior variedade de tipos de resinas compostas.

Com base nesses resultados, torna-se interessante, em futuras pesquisas, avaliar a utilização de fotativadores de um mesmo tipo de fonte de luz, mas de diferentes marcas comerciais, bem como a utilização de outros tipos de resinas compostas. Com isso, pode-se analisar sua influência na microdureza e no grau de conversão, assim como em outras propriedades físicas da resina. Também se faz necessário estudar possíveis efeitos deletérios aos tecidos dentais e bucais com esses novos aparelhos.

Alguns estudos têm mostrado correlação entre os testes de microdureza e a análise do grau de conversão. Apesar de alguns estudos não terem encontrado correlação entre a dureza e o grau de conversão (CHUNG e GREENER, 1990; ELIADES; VOUGIOUKLASKIS; CAPUTO, 1987). Ferracane (1985), Ferracane e Greener (1986), Neves et al. (2002) e Santos (2003), mostraram haver essa

correlação. A diferença nesses resultados pode ser explicada pelo fato de que, segundo Ferracane (1985) essa correlação existe quando é comparada resina composta da mesma composição e nos trabalhos onde não foi encontrada a correlação foram comparadas resinas diferentes.

Neste estudo, foi analisada a correlação entre a microdureza e o grau de conversão, de uma mesma resina composta, mostrando-se haver um alto grau de correlação direta. Com isso, pode-se validar o teste de microdureza como um método indireto para se avaliar o grau de polimerização da resina composta.

Posteriormente, foi avaliada a correlação entre a PDM e o grau de conversão, em que houve também uma alta correlação entre eles, o que mostra que esse método de análise é um método eficiente para se analisar a porcentagem de polimerização da resina composta.

7 CONCLUSÕES

Diante da metodologia utilizada e dos resultados obtidos, conclui-se que:

- 7.1 o aumento da distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta promoveu uma diminuição nos valores de microdureza e no grau de conversão para todos os tipos de fontes de luz estudados;
- 7.2 para todas as fontes estudadas, o aumento da espessura de resina composta diminuiu os valores de microdureza e grau de conversão, na face oposta, independentemente da distância da fonte de luz;
- 7.3 avaliando-se a qualidade de polimerização pelo cálculo da PDM, o laser de argônio obteve valores inferiores à luz halógena e ao LED, mantendo valores de até 80% de dureza máxima, apenas até 1 mm de espessura com todas as distâncias estudadas;
- 7.4 avaliando-se a qualidade de polimerização, pelo cálculo da PDM, a luz halógena manteve valores de até 80% em espessuras de 2 mm no máximo e utilizando-se distâncias de até 3 mm da fonte de luz, a partir de 6 mm de distância só mantiveram os 80% em espessuras de 0 e 1 mm;
- 7.5 avaliando-se a qualidade de polimerização, o LED manteve valores de até 80% em espessuras de 2 mm no máximo e utilizando-se distâncias de até 3 mm da fonte de luz, com 6 mm de distância só mantiveram os 80% em espessuras de 0 e 1 mm com distanciamento de 9 mm da fonte de luz, apenas encostando-se na resinas (0mm de espessura) mostrou valores de até 80%;

7.6 houve uma alta correlação entre a análise PDM e a análise do grau de conversão e entre o teste de microdureza e a análise do grau de conversão;

7.7 as fontes de fotoativação atuais promovem grau de conversão e microdureza correspondentes entre si, desde que a espessura da resina seja até 1 mm de espessura e a que a fonte esteja a uma distância máxima de 3 mm.

REFERÊNCIAS¹

Abate PF, Zahra VN, Macchi RL. Effect of photopolymerization variables on composite hardness. *J Prosthet Dent* 2001;86(6):632-5.

Aguiar FHB, Lazzari CR, Lima DANL, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Effect of light curing tip distance and resin shade on microhardness of a hybrid resin composite. *Braz Oral Res* 2005;19(4):302-6.

Anusavice KJ. Phillips, materiais dentários. 11^a ed. Trad. de Alessandro Dourado et al. Rio de Janeiro: Elsevier; 2005.

Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dent Mater* 2006; [Epub ahead of print]

Asmussen E, Peutzfeldt A. Light-emitting diodes curing: Influences on selected properties of resin composites. *Quintessence* 2003;34(1):71-5.

Atmadja G, Bryant RW. Some factors influencing the depth of cure of visible light-activated composite resins. *Aust Dent J* 1990;35(3):213-8.

Aw TC, Nicholls JI. Polymerization shrinkage of restorative resins using laser and visible light curing. *J Clin Laser Med Surg* 1997;15(3):137-41.

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

Belan LC. Microdureza da resina composta ativada com luz halógena e laser de Argônio na técnica pulso-espera [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia USP; 2004.

Bennett AW, Watts DC. Performance of two blue light-emitting-diode dental light curing units with distance and irradiation-time. *Dent Mater* 2004;20(1):72-9.

¹ De acordo com Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo base de dados MEDLINE.

Blankenau RJ, Kelsey WP, Powell GL, Shearer GO, Barkmeier WW, Cavel WT. Degree of composite resin polymerization with visible light and argon laser. *Am J Dent* 1991;4(1):40-2.

Brenneise CV, Blankenau RJ. Response of associated oral soft tissues when exposed to Argon laser during polymerization of dental resins. *Lasers Surg Med* 1997;20(4):467-72.

Burgess JO, Walker RS, Porche CJ, Rappold AJ. Light-curing – An update. *Compendium* 2002;23(10):889-906.

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

Chung KH, Greener EH. Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. *J Oral Rehabil* 1990;17(5):487-94.

Cobb DS, Vargas MA, Rundle T. Physical properties of composites cured with conventional light or argon laser. *Am J Dent* 1996;9(4):199-202.

Consani S, Pereira SB, Sinhoreti MAC, Correr Sobrinho L. Efeito dos métodos de fotoativação e de inserção sobre a dureza de resinas compostas. *Pesqui Odontol Bras* 2002;16(4):355-60.

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

DeWald JP, Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res* 1987;66(3):727-30.

Docktor MH. Esthetics and the argon ion laser. *J Esthet Dent* 1994;6(2):77-82.

Dun WJ, Bush AC. A comparison of polymerization by light-emitting diode and halogen-based light-curing units. *J Am Dent Assoc* 2002;133(3):335-41.

Eliades GC, Vougiouklaskis GJ, Caputo AA. Degree of double bond conversion

in light-cured composites. *Dent Mater* 1987;3(1):19-25.

Ersoy M, Civelek A, L'Hotelier E, Say EC, Soyman M. Physical properties of different composites. *Dent Mater J* 2004;23(3):278-83.

Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. *J Am Dent Assoc* 2002;133(4):429-34.

Felix CA, Price RTB, 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* 2006;72(2):147-147g.

Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater* 1985;1(1):11-4.

Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res* 1986;20(1):121-31.

Fleming MG, Maillet WA. Photopolymerization of composite resin using the argon laser. *J Can Dent Assoc* 1999;65(8):447-50.

Friedman J, Hassan R. Comparison study of visible curing lights and hardness of light – cured restorative materials. *J Prosthet Dent* 1984;52(4):504-6.

Fróes NRG. Influência no modo de fotoativação e da distância da fonte de luz no grau de conversão e na microinfiltração de um compósito [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dent Mater* 2002;18(6):463-9.

Hammesfahr PD, O'Connor MT, Wang X. Light-curing technology: past, present and future. *Comp Cont Educ Dent* 2002;23(9 suppl1):18-24.

Hansen EK, Asmussen E. Visible-light units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *Acta Odontol Scand* 1997;55(3):162-6.

Kanca^{3rd} J. Visible light-activated composite resins for posterior use – a comparison of surface hardness and uniformity of cure. Update. Quintessence Int 1985;16(10):687-90.

Kelsey^{3rd} WP, Blankenau RJ, Powell GL, Barkmeier WW, Cavel WT, Whisenant BK. Enhancement of physical properties of resin restorative material by laser polymerization. Lasers Surg Med 1989;9(6):623-7.

Knobloch LA, Kerby RE, Clelland N, Lee J. Hardness and degree of conversion of posterior packable composites. Oper Dent 2004;29(6):642-9.

Kutsch VK. Lasers in dentistry: comparing wavelengths. J Am Dent Assoc 1993;124(2):49-54.

Leloup G, Holvoet PE, Bebelman S, Devaux J. Raman scattering determination of the depth of cure light-activated composites: influence of different clinically relevant parameters. J Oral Rehabil 2002;29(6):510-5.

Leonard DL, Charlton DG, Roberts HR, Hilton TJ, Zionie A. Determination of the minimum irradiance required for adequate polymerization of a hybrid and a microfill composite. Oper Dent 2001;26(2):176-80.

Lindberg A, Emami N, Dijken JWV. A fourier transform Raman spectroscopy analysis of the degree of conversion of a universal hybrid resin composite cured with light-emitting diode curing units. Swed Dent J 2005;29(3):105-12.

Lloret PR, Rode KM, Turbino ML, Eduardo CP. Comparison of the tensile bond strengths of composite resin cured with an Argon laser using two distances of the handpiece [Resumo P17]. J Oral Laser Appl 2001;1suppl:47

Lohbauer U, Rahiotis C, Krämer N, Petschelt A, Eliades G. The effect of different light-curing units on fatigue behavior and degree of conversion of a resin composite. Dent Mater 2005;21(7):608-15.

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

Mandarino F, Angelis Porto CL, Fontana UF, Cândido MSM, Oliveira Jr OB. Efeito da tonalidade de cor sobre a profundidade de polimerização das resinas

compostas fotopolimerizáveis. Rev Bras Odontol 1992;49(5):38-41.

Manga RK, Charlton DG, Wakefield CW. In vitro evaluation of a curing radiometer as a predictor of polymerization depth. Gen Dent 1995;43(3):241-3.

Masuda MS, Maluf WI, Muench A. Dureza Knoop de resinas compostas em função do tempo de irradiação, das espessuras das camadas, da idade e da profundidade. RPG 1999;6(1):25-35.

Meyer G, Ernst CP, Willershausen B. Decrease in power output of new light-emitting diode (LED) curing devices with increasing distance to fillinhg surface. J Adhes Dent 2002;4(3):197-204.

Nakfoor B, Yaman P, Dennison J, Herrero A. Effect of a light-emitting diode on composites polymerization shrinkage and hardness. J Esthet Restorative Dent 2005;17(2):110-6.

Naufel FS, Youssef MN, Turbino ML. Profundidade de polimerização de resina composta pelo laser de Argônio: efeito de diferentes tempos e intensidades do laser. JBD 2005;4(14):166-72.

Neves AD, Discacciati, Oréface RL, Jansen WC. Correlação entre grau de conversão, microdureza e conteúdo inorgânico em compósitos. Pesqui Odontol Bras 2002;16(4):349-54.

Peris AR, Mitsui FHO, Amaral CM, Ambrosano GMB, Pimenta LAF. The effect of composite type on microhardness when using quartz-tungsten-halogen (QTH) or LED lights. Oper Dent 2005;30(5):649-54.

Peutzfledt A, Asmussen E. Resin composite properties and energy density of light cure. J Den Res 2005;84(7):659-62.

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

Pick RM. Using lasers in clinical dental practice. J Am Dent Assoc 1993;124(2):37-47.

Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. Dent Mater 1992;8(5):299-304.

Pires JAF, Cvitko E, Denehy GE, Swift Jr EJ. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int* 1993;24(7):517-21.

Poloniato M. Avaliação da resistência flexural, dureza e desgaste de resinas compostas fotoativadas com luz halógena e laser de argônio em diferentes atmosferas [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 1998.

Powell GL, Blankenau RJ. Laser curing of dental materials. *J Oral Laser Applications* 2001;1(1):7-11.

Powell GL, Morton TH, Whisenant BK. Argon laser oral safety parameters for teeth. *Lasers Surg Med* 1993;13(5):548-52.

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

Price RBT, Felix CA, Andreou P. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. *Biomaterials* 2004;25:4465-77.

Ramos RN, Garone Netto N, Burger RC. Microdureza da superfície de duas resinas compostas fotoativadas por aparelhos com lâmpadas halógenas e aparelhos com lâmpadas LED. *Rev Odontol UNICID* 2003;15(3):201-11.

Rissi RC, Cabral A. Fotopolimerização: principais variáveis clínicas que podem interferir no processo. *Rev Assoc Paul Cir Dent* 2002;56(2):123-8.

Rode KM, Lloret PR, Turbino ML, Eduardo CP. Determination of the optimum curing distance for composite resin using the Argon laser. [Resumo P19]. *J Oral Laser Appl* 2001; 1suppl:47

Rode KM, Lloret PR, Turbino ML. Study of microhardness in depth of composite resin polymerized with argon laser and halogen light. *RPG* 2005;12(3):323-9.

Rueggeberg FA, Jordan DM. Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont* 1993;6(4):364-70.

Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis Jr JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 1994;19(1):26-32.

Rueggeberg FA, Ergle JW, Mettenburg DJ. Polymerization depths of contemporary light-curing units using microhardness. *J Esthet Dent* 2000;12(6): 340-9.

Ryge G, Foley DE, Fairhurst CW. Micro-indentation hardness. *J Dent Res* 1961;40(6):1116-26.

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

Santos LA. Avaliação da extensão da polimerização superficial da resina composta por meio do teste de microdureza [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2002.

Santos LA, Turbino ML, Youssef MN, Matson E. Microdureza de resina composta: efeito de aparelhos e tempos de polimerização em diferentes profundidades. *Pesqui Odontol Bras* 2000;14(1):65–70.

Say EC, Civelek A, Nobecourt A, Ersoy M, Guleryuz C. Wear and microhardness of different resin composite materials. *Oper Dent* 2003;28(5):678-84.

Soh MS, Yap AUJ, Yu t, Shen ZX. Analysis of the degree of conversion of LED and halogen lights using micro-Raman spectroscopy. *Oper Dent* 2004;29(5):571-7.

Shin WS, Schwartz LB, Wunder SL, Baran GR. Determination of the degree of cure of dental resins using Raman and FT-Raman spectroscopy. *Dent Mater* 1993;9(5):317-24.

Shortall AC. How light source and product shade influence cure depth for a contemporary composite. *J Oral Rehabil* 2005;32(12):900-11.

St-Georges AJ, Swift Jr. EJ, Thompson JY, Heymann HO. Curing light intensity effects on wear resistance of two resin composites. *Oper Dent* 2002;27(4):410-7.

Souza SA. Ensaio de dureza. In: Ensaios mecânicos de materiais metálicos fundamentos teóricos e práticos. 5ª ed. São Paulo: Edgard Blücher; 1982. cap.4, p. 103-37.

Tate WH, Porter KH, Dosch RO. Successful photocuring: don't restore without it. Oper Dent 1999;24(2):109-14.

Turbino ML. Profundidade de polimerização de resina composta ativada com laser de Argônio [Tese de Livre Docência]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2004.

Turbino ML, Santos LA, Matson E. Microdureza de resina composta fotopolimerizável: a cor da matriz experimental pode alterar os resultados dos testes? Pesqui Odontol Bras 2000;14(3):232-6.

Tsuda H, Arends J. Raman Spectroscopy in dental research: a short review of recent studies. Adv Dent Res 1997;11(4):539-47.

Umbehaun RF. Avaliação do grau de polimerização de materiais restauradores estéticos, na superfície voltada ou oposta à fonte de luz, por meio de testes de microdureza, com diferentes espessuras [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2001.

Unterbrink GL, Muessner R. Influence of light intensity on two restorative systems. J Dent 1995;23(3):183-9.

Vargas MA, Cobb DS, Schmit JL. Polymerization of composite resins: Argon laser vs conventional light. Oper Dent 1998;23(2):87-93.

Wakinine S, Cipolla AJ. Laser vs Halogen photopolimerization – Characterization of VLC Composite mechanical properties [abstract. n.1745]. J Dent Res 1995;74:230.

Watts DC, Amer O, Combe EC. Characteristics of visible-light-activated composite systems. Br Dent J 1984;156(6):209-15.

Watts DC, Amer OM, Combe EC. Surface hardness development in light-cured composites. Dent Mater 1987;3(5):265-9.

Wiggins KM, Hartung M, Althoff O, Wastian C, Mitra SB. Curing performance of

a new-generation light-emitting diode dental curing unit. J Am Dent Assoc 2004;135(10):1471-9.

Yap AUJ, Wong NY, Siow KS. Composite cure and shrinkage associated with high intensity curing light. Oper Dent 2003;28(4):357-64.

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

Yearn JA. Factors affecting cure of visible light activated composites. Int Dent J 1985;35(3):218-25.

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