PATRICIA RAMOS LLORET

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA FLEXURAL, MICROINFILTRAÇÃO
E GRAU DE CONVERSÃO DE UMA RESINA COMPOSTA
FOTOATIVADA COM LUZ HALÓGENA E
LASER DE ARGÔNIO**

São Paulo

2006

Patrícia Ramos Lloret

**Avaliação da resistência flexural, microinfiltração e grau
de conversão de uma resina composta fotoativada
com luz halógena e laser de argônio**

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. Miriam Lacalle Turbino

São Paulo

2006

FOLHA DE APROVAÇÃO

LLoret PR. Avaliação da resistência flexural, microinfiltração e grau de conversão de uma resina composta fotoativada com luz halógena e laser de argônio [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

São Paulo, 13/02/2007

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: _____

Aos meus pais, Antonio e Pilar

Por abdicar de tantas coisas para garantirem um futuro melhor aos seus filhos,

Por estarem sempre presentes nas etapas mais importantes da minha vida,

Pelo amor incondicional e verdadeiro...

Ao meu filho Guilherme

Maior presente que Deus me deu e que é a principal razão da minha vida...

Ao meu grande amor Genivaldo

Por estar sempre ao meu lado e

Ter permitido que eu realizasse um grande sonho.

Só eu sei a grandeza do seu gesto...

À toda minha família:

Pelo carinho e por compartilharem comigo de tantos momentos de alegria e união...

À minha orientadora Profa. Dra. Miriam Lacalle Turbino

*Por dar muito mais do que ensinamentos técnicos,
Por ser uma amiga de verdade
e por me apoiar sempre.*

*...A todos vocês dedico este trabalho.
MUITO OBRIGADA!*

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao Prof. Dr. Edmir Matson

*Grande Professor que me deu a oportunidade para que eu
pudesse chegar até aqui.*

Muito obrigada por ter acreditado no meu trabalho...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Yoshio Kawano que abriu as portas do seu laboratório, no Instituto de Química e permitiu que parte deste trabalho fosse possível de ser realizado.

Ao Prof. Titular Carlos de Paula Eduardo que autorizou o empréstimo do laser de Argônio para o meu estágio na Universidade de Granada, na Espanha.

À coordenadora da pós-graduação Prof. Dra. Márcia Martins Marques que viabilizou meu estágio no exterior.

À amiga Kátia Martins Rode pela grande amizade e companheirismo de todas as horas.

Ao amigo Márcio Vivan Cardoso pelo carinho e colaboração nas várias etapas deste caminho.

Aos todos os colegas da pós-graduação que participaram de alguma forma no meu crescimento profissional e pessoal.

Aos Professores Drs. Manuel Toledano e Raquel Osório por terem aberto as portas do laboratório de pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de Granada e terem contribuído para a realização deste trabalho.

À Profa. Fátima Sanchez Aguilera pelo carinho com que me orientou nas etapas laboratoriais deste trabalho.

Aos amigos queridos que fiz durante minha estada na Universidade de Granada e que muito me ajudaram: Carol, Tutty, Aline, Carmem, Pedro Paulo e Alberto.

À Yudi, técnica do laboratório de pesquisas da Faculdade de Odontologia da Universidade de Granada pela grande ajuda na preparação das amostras.

Aos funcionários: Sr. Aldo, Arnaldo, David, Sônia e Neuza, funcionários do Departamento de Dentística de Endodontia desta Faculdade, pela dedicação com que sempre me atenderam e por toda ajuda que prestaram durante o curso.

Aos funcionários do LELO (Laboratório Especial de Laser em Odontologia), Liliane e Haroldo pela prestatividade durante a execução deste projeto.

Aos funcionários da biblioteca, em especial à Vânia, Aguida e Cidinha pela colaboração na revisão bibliográfica, formatação e confecção da ficha catalográfica desta tese.

Às funcionárias da Pós-Graduação Cátia Tiezzi dos Santos e Nair Hatsuko Tanaka pela atenção com que sempre me atenderam.

A todos os Professores do Departamento de Dentística da FOUSP pela agradável convivência.

À CAPES, pela bolsa concedida, viabilizando a total execução deste projeto, tanto na etapa que foi realizada no Brasil como na etapa de estágio no exterior.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho...

... meus sinceros agradecimentos.

Lloret PR. Avaliação da resistência flexural, microinfiltração e grau de conversão de uma resina composta fotoativada com luz halógena e laser de argônio [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2006.

RESUMO

Nesta pesquisa foi avaliado a resistência flexural, a microinfiltração e o grau de conversão de uma resina composta micro-híbrida fotoativada por laser de argônio e luz halógena. Para o teste de resistência flexural e grau de conversão foram preparadas cinco amostras de 25 X 2 X 2mm de acordo com a norma ISO 4049. Os parâmetros de fotoativação utilizados em todas as etapas do trabalho foram: luz halógena (500mW/cm²) por 20 segundos, laser de argônio (250mW) por 10 e 20 segundos. As amostras foram lixadas com a seqüência de granulações 500, 800, 1000, 1200, 2500 e 4000. Os espécimes eram armazenados em água destilada, em recipiente escuro, em estufa a 37°C por 24 horas e eram submetidos ao ensaio de resistência flexural (Máquina de Ensaio Mecânicos - Modelo 4411 – Instron) em velocidade de 1mm/min. Para o estudo da microinfiltração foram utilizados dentes incisivos bovinos (n=20), As cavidades eram preparadas com brocas Carbide #330 com 4mm (altura) X 3mm (largura) X 2mm (profundidade). Os dentes eram então restaurados, e recebiam acabamento e polimento e em seguida eram armazenados em água destilada, em estufa a 37°C por 24 horas. As amostras foram submetidas ao processo de termociclagem (500 ciclos de 30 segundos - 6°C e 60°C). Após a termociclagem, os ápices dos dentes eram selados com IRM e adesivo a base de cianoacrilato e imersos em fucsina básica a 0,5% por 24 horas, em estufa a 37°C. A análise do grau de conversão foi feita com o Espectrômetro FT-Raman RFS 100/S (Bruker). Para o teste de resistência flexural foi realizado o teste de análise de

variância, que mostrou não haver diferença estatisticamente significativa entre as fontes fotoativadoras estudadas ($p>0,05$). A microinfiltração das margens oclusais (em esmalte) e gengivais (em dentina) dos três grupos foram analisadas separadamente por meio do teste de Mann-Whitney. Houve diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% entre esmalte e dentina, sendo que em todos os grupos a microinfiltração em dentina foi maior que em esmalte. O teste não-paramétrico Kruskal-Wallis foi utilizado separadamente nas comparações entre as fontes para as análises do grau de microinfiltração em esmalte e dentina. Não houve diferença estatisticamente significativa em ambas as comparações, sendo o valor de $H= 0,1283$ para esmalte e de $H=2,3083$ para em dentina. Para a análise do grau de conversão foi realizada a análise de variância (ANOVA) entre os grupos. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes. Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o laser de argônio apresentou qualidade de fotoativação semelhante à da luz halógena e que nenhuma fonte ativadora estudada foi capaz de evitar a microinfiltração.

Palavras-Chave: Resina composta – Fotoativação – Resistência Flexural – Laser de argônio - Microinfiltração – Grau de conversão – Luz halógena – Espectrômetro Raman

Lloret PR. Evaluation of flexural strength, microleakage and degree of conversion of a composite resin photocured with argon laser and halogen lamp [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2006.

ABSTRACT

In the research was evaluated the flexural strength, the microleakage and the degree of conversion of a micro-hybrid composite resin photocured with argon laser and halogen lamp. For both flexural test and degree of conversion analysis five bar samples of composite resin (25 X 2 X 2mm) were prepared and polymerized following the ISO 4049. The light cured unit halogen was used with 500mW/cm² for 20 seconds and the argon laser with 250mW for 10 and 20 seconds. After curing, samples were removed from the molds, polished using silicon carbide paper up to 4000 grit-number and stored in distilled water in dark environment at 37oC for 24 hours. The flexural property was quantified by a three-point loading test (Model 4411, Instron Corp., Canton, MA) with a cross-head speed of 1,0mm/min. To microleakage test sixty bovine incisors were used to prepare standardized class V cavities that were restored and polished. The specimens were stored in water for 24 hours at 37oC and thermocycled 500 times between water baths kept at 5 oC and 55 oC. After thermocycling, specimens were immersed in a aqueous solution of basic fuchsin for 24 hours. Longitudinal sections of each restoration were obtained and examined with a stereomicroscope for qualitative evaluation of microleakage. FT-Raman RFS 100/S spectrometer (Bruker) was used to analyse the degree of conversion. The ANOVA test showed that there were no statistically significant difference of the flexural setrength between the photo-activation types evaluated in the flexural study. Microleakage data was statistically analysed by Mann-Whitney

and Kruskal-Wallis tests. Enamel margins resulted in statistical lower degree of leakage than dentin margins. There was no statistically significant difference between the three types of photo-curing studied. The ANOVA test also showed that there were no statistically significant difference of the degree of conversion between the studied groups. According to the methodology used in this research it was concluded that the argon laser is a possible alternative for photocuring, providing the same quality of polymerization as do the halogen lamp. None of the photocured units tested in this study completely eliminated microleakage.

Key-works: Composite resin – Cure light – Flexural strength – Argon laser - Microleakage – Degree of conversion – Halogen light – Raman spectrometer

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1A a D - Seqüência de confecção das amostras para o ensaio de resistência flexural	67
Figura 4.1A - matriz metálica	67
Figura 4.1B - aplicação da resina composta	67
Figura 4.1C - fotoativação da resina	67
Figura 4.1D - Abertura da matriz para retirada da amostra	67
Figura 4.2 A e B -Máquina de ensaios mecânicos – Instron (Modelo 4411)	68
Figura 4.2 A - vista geral do aparelho	68
Figura 4.2 B - vista aproximada do suporte para a realização do teste com três apoios	68
Figura 4.3 A e B - Materiais utilizados no preparo das amostras para microinfiltração.....	70
Figura 4.3 A - Ácido fosfórico 35% (3M-ESPE), Sistema adesivo Single Bond (3M- ESPE) e resina Filtek Z-250 (3M-ESPE).....	70
Figura 4.3 B - Adesivo a base de cianoacrilato (Locite) e cimento provisório IRM.....	70
Figuras 4.4 A, B e C - Seqüência de preparo das amostras para coloração em fucsina básica 0,5%.....	71
Figuras 4.4 A - Dente bovino após selamento do ápice.....	71

Figuras 4.4 B -	Dente impermeabilizado com esmalte de unha.....	71
Figuras 4.4 C -	Dentes fixados com cera pegajosa e imersos em solução de fucsina básica a 0,5%.....	71
Figura 4.5A e B -	Espectrômetro FT-Raman RFS 100/S (Bruker).....	74
Figura 4.5A -	Vista panorâmica do aparelho	74
Figura 4.5B -	Vista aproximada.....	74
Figura 5A a 5F -	Fotografias de amostras apresentando diferentes graus de infiltração	79
Figura 5A -G1 -	Escore 0 em esmalte e 1 em dentina	79
Figura 5B - G1 -	Escore 1 em esmalte e 2 em dentina	79
Figura 5C - G2 -	Escore 1 em esmalte e 1 em dentina	79
Figura 5D - G2 -	Escore 0 em esmalte e 1 em dentina	79
Figura 5E - G3 -	Escore 3 em esmalte e 2 em dentina	80
Figura 5F -	G3- Escore 0 em esmalte e 0 em dentina	80
Gráfico 5.1-	Média dos valores de resistência flexural da resina composta fotoativada com as diferentes fontes fotoativadoras.....	77
Gráfico 5.2-	Comparação entre as margens oclusais e gengivais nos diferentes grupos estudados	78
Gráfico 5.3 -	Média do grau de conversão da resina composta fotoativada pelas fontes fotoativadoras estudadas.....	82

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 5.1 - Valores originais de resistência flexural (MPa) para a resina composta fotoativada pela luz halógena e laser de argônio	76
Tabela- 5.2 - Média dos valores de resistência flexural (MPa).....	76
Tabela 5.3 -Valores de microinfiltração em escores de cada grupo experimental	77
Tabela 5.4 - Valores obtidos no teste de Mann-Whitney na comparação do grau de microinfiltração esmalte e dentina para as fontes estudadas.....	78
Tabela 5.5 - Valores dos graus de conversão, em porcentagem, dos quatro grupos de estudo de acordo com a localização na amostra	81
Tabela 5.6 - Média dos valores dos graus de conversão em porcentagem	81
Quadro 5.1 - Análise de variância entre os grupos das diferentes fontes para avaliação da resistência flexural	76
Quadro 5.2 - Análise de variância entre os grupos das diferentes fontes para avaliação do grau de conversão	81

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

%	Porcentagem
A	Área
ANOVA	Analysys of variance: análise de variância
BIS-GMA	Bisfenol glicidilmetacrilato
cm ²	Centímetro quadrado
CO ₂	Dióxido de Carbono
dE	Densidade de energia
dP	Densidade de potência
E	energia
F	Resultado do teste ANOVA (teste estatístico)
F20	Polimerização com luz halógena por 20 segundos
FTIR	<i>Forrier Transformed Infrared</i>
G.L.	Graus de liberdade (utilizado em testes estatísticos)
G1, G2	Grupo 1, grupo 2,...
H	Resultado do teste estatístico de Kruskall-Wallis
HEMA	Hidroxietil metacrilato
ISO	International Standard Organization
J	Joules
J/cm ²	Joules por centímetro quadrado
L10	Polimerização com <i>laser</i> de Argônio por 10 segundos
L20	Polimerização com <i>laser</i> de Argônio por 20 segundos

<i>laser</i>	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation: Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação
LED	Light emitted diode: emissão de luz por diodo
MET	Microscopia eletrônica de transmissão
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
mm	Milímetro
mm/min	Milímetro por minuto
MPa	Mega Pascal
mW	miliwatt
mW/cm ²	Miliwatt por centímetro quadrado
N	Newton
Nd:YAG	Neodímio: YAG (neodímio: ítrio-alumínio-granada)
nm	Nanômetro
°C	Grau Celsius
P	Potência
QM	Quadrado médio (utilizado em testes estatísticos)
s	Segundos
SQ	Soma dos quadrados (utilizado em testes estatísticos)
t	Tempo
TEGDMA	Trietilenoglicoldimetacrilato
UDMA	Uretanoetil-dimetacrilato
W	Watt
Z(U)	Resultado do teste estatístico de Mann-Whitney

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

°C Graus Celsius

μm Micrômetro

π pi – constante para cálculo da área de um círculo, com valor aproximado de 3,1416

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1 Polimerização de resina composta.....	23
2.2 Resistência Flexural.....	40
2.3 Microinfiltração.....	47
3 PROPOSIÇÃO	60
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
5 RESULTADOS	75
6 DISCUSSÃO	83
7 CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICES.....	107

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais as restaurações de resina composta têm sido o material de eleição nos procedimentos restauradores atuais devido ao aumento da exigência estética por parte dos pacientes.

A partir do seu surgimento, a resina composta vem passando por sucessivas alterações na composição com o objetivo de conferir características anteriormente ausentes. No entanto, apesar de toda evolução, ainda não estão totalmente solucionados problemas como contração de polimerização, desgaste e sensibilidade pós-operatória (FERRACANE, 1995).

Além da busca por melhores resultados no que se refere à composição das resinas, outro aspecto diretamente relacionado com o sucesso das restaurações é a maneira pela qual a polimerização destas resinas é realizada, a qualidade das fontes de luz utilizadas e a qualidade final do material resultante do processo de polimerização.

Atualmente, diferentes tipos de fontes de luz têm sido propostos como alternativas ao uso dos aparelhos convencionais de luz halógena. Dentre eles estão o arco de plasma, os aparelhos de LED e laser de íon argônio (LOHBAUER et al., 2005).

A indicação da utilização do laser de íon de argônio como fonte fotoativadora tem sido controversa, uma vez que alguns autores afirmam se tratar de uma eficiente fonte de radiação, capaz de melhorar propriedades físicas e mecânicas das resinas compostas em um menor tempo de exposição, quando comparado à polimerização com luz halógena (BLANKENAU et al., 1991; KELSEY et al., 1989;

POWELL; BLANKENAU, 2001) em contradição a outros autores que demonstraram uma ação menos eficaz do laser devido à distância do comprimento de onda de 488nm dos 470nm que é a banda da absorção da canforquinona (BURGESS et al., 2002; HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002).

Uma forma de se verificar a qualidade de polimerização de um material resinoso é a avaliação do grau de conversão. A química da polimerização se dá através da estimulação de um fotoiniciador presente nas resinas compostas. Durante a polimerização, os monômeros da resina composta devem reagir, de forma que as ligações duplas de carbono ($C=C$) convertam-se em ligações simples ($C-C$). O resultado dessa reação é denominado grau de conversão (SANTOS, 1998). O grau de conversão pode variar conforme o sistema de iniciação utilizado, o tempo de irradiação, a distância entre a ponta irradiadora e a superfície da resina, cor e tipo da resina composta, forma e distribuição da carga (CRISPIN et al., 1994).

Unidades fotoativadoras emissoras de intensidades de luz cada vez maiores são recomendadas quase que universalmente. No entanto, geralmente estas recomendações são baseadas na busca por melhores propriedades mecânicas do material, bem como aumento da profundidade de polimerização, sem levar em consideração um possível efeito negativo na integridade marginal. A alta intensidade de luz pode estar relacionada com o desenvolvimento de estresse na interface adesiva quando da contração de polimerização da resina, o que resultaria em um processo de microinfiltração (MEHL; HICKEL; KUNZELMANN, 1997).

A microinfiltração resulta na passagem de bactérias, íons, moléculas e fluidos, podendo causar desde sensibilidade pós-operatória, num primeiro momento, até o desenvolvimento de lesões cariosas recorrentes, com o conseqüente insucesso da restauração (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1985). No entanto, apesar de toda

evolução dos materiais e dos procedimentos restauradores adesivos, a microinfiltração continua sendo um dos maiores problemas das restaurações estéticas.

Idealmente, uma restauração de resina composta deve apresentar um grau de conversão satisfatório e, por conseguinte, propriedades mecânicas que tornem a restauração capaz de resistir aos esforços mastigatórios, com o mínimo de contração de polimerização (TARLE et al., 1998).

Com isso, o estudo das propriedades físicas dos materiais torna-se importante uma vez que permite prever como o material se comportará diante do estresse mastigatório. Para isso, existem ensaios laboratoriais como testes de microdureza, resistência à tensão diametral, resistência à compressão e resistência flexural.

O estudo da resistência flexural de um material restaurador tem relevância, pois clinicamente as restaurações são submetidas freqüentemente a esforços flexurais tanto nos dentes anteriores como posteriores (ANUSAVICE, 2005; BAYNE; HEYMANN; SWIFT, 1994;). É uma propriedade amplamente estudada e é eleita pela *International Standard Organization*. ISO (2000) como uma propriedade representativa na apresentação do perfil de um material restaurador resinoso (YAP; TEOH, 2003), pois além de ser um teste de fácil reprodução, permite a comparação entre diferentes materiais e formas de polimerização (MATSON, 2003). Como se trata de uma mensuração coletiva de forças de tração, compressão e cisalhamento simultaneamente, seu resultado pode prever o comportamento de um sistema restaurador diante quando submetido aos esforços mastigatórios (PHILLIPS, 1998).

Diante desses fatos abordados, entende-se a importância de se estudar a resistência flexural e o grau de conversão de uma resina composta fotoativada com

uma fonte de luz halógena e um laser de argônio, utilizando diferentes tempos de exposição, bem como avaliar a microinfiltração marginal, o que possibilitaria ilustrar o possível comportamento clínico das restaurações resinosas frente à utilização destas diferentes fontes fotoativadoras.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Com o objetivo de tornar a leitura mais clara e de fácil entendimento, este capítulo está subdividido em itens de acordo com os assuntos abordados

2.1 Polimerização da resina composta

O processo de polimerização das resinas compostas a base de dimetacrilatos ocorre a partir de uma reação por adição através de radicais livres. Essa reação não forma subprodutos, no entanto não é completa, pois nas ligações remanescentes ficam presentes monômeros residuais que não reagiram ou que reagiram parcialmente com as cadeias poliméricas. Uma característica deste tipo de reação é a contração de polimerização que ocorre pela diminuição da distância entre os grupamentos vinílicos dos monômeros, antes unidos fisicamente por forças de Van der Waals, e depois da polimerização, ligados por união covalente simples (CORRÊA, 2003).

A química da polimerização das resinas compostas fotoativadas se dá por meio da estimulação de um foto-iniciador presente na sua composição. Na grande maioria das resinas compostas comercialmente presentes no mercado, este foto-iniciador é uma substância denominada canforquinona. A canforquinona, ao absorver a energia luminosa de comprimento de onda específico (488nm), atinge um estado de excitação, denominado estado de excitação triplo e se combina com a

amina do meio reacional por colisão aleatória. Ambas se convertem em radicais livres (PHILLIPS, 1998). São esses radicais livres que engatilham a reação de polimerização, reagindo com as duplas ligações de carbono dos monômeros, tornando-as altamente reativas e iniciando assim a reação de polimerização. A reação progride fazendo novas ligações lineares e ligações cruzadas até que praticamente todo o monômero converta-se em polímero (BLANKENAU, 1991; CRISPIN et al., 1994).

No entanto, para que essa reação ocorra, é fundamental que a luz emitida seja capaz de cobrir a faixa de absorção do fotoiniciador. Quanto mais próxima estiver a fonte luminosa do fotoiniciador, maior será a conversão em profundidade (CORRÊA, 2003). Como mencionado anteriormente, a canforquinona é seletiva à luz de comprimento de onda entre 430 e 500nm (espectro azul), com a banda de absorção em 468-470nm (BLANKENAU, 1991). Portanto, a ativação da canforquinona se dá por meio dos fótons de luz que vão resultar na formação de radicais livres. Quanto maior for a energia utilizada para ativar o iniciador (canforquinona), mais rápido será o desenvolvimento da reação de polimerização e maior será o grau de conversão (VERHEYEN, 2001). No entanto, não só a quantidade de energia emitida é importante, mas também a qualidade do espectro luminoso, pois ambos irão determinar que a reação de polimerização ocorra de forma adequada e produza ao final um polímero com as propriedades desejadas (CORRÊA, 2003).

Com vista à sua capacidade de polimerização, o laser de íon argônio, onde um dos comprimentos de onda está na faixa de 488nm, vem sendo proposto por vários autores, na busca por melhores resultados nas restaurações de resina

composta, tendo em vista a sua capacidade de polimerização (BLANKENAU et al, 1991; KELSEY et al., 1989; POWELL; BLANKENAU, 2001).

Muito antes da sua utilização na Odontologia, o laser já vem sendo empregado há décadas na Medicina para diagnóstico de lesões, Dermatologia, Oftalmologia, Otorrinolaringologia, Neurologia, Cardiologia, Gastroenterologia, Ortopedia, Urologia e Nefrologia. Os primeiros estudos na área de Odontologia datam de 1963 (MELLO; MELLO, 2001; MISERENDINO; PICK, 1995; NAVARRO, 2001).

Laser é o processo pelo qual uma forma de energia é transformada em energia luminosa. A origem do desenvolvimento dessa tecnologia teve início a partir de estudos de Einstein (1917) sobre o mecanismo de interação entre luz e matéria, onde o cientista postulou princípios teóricos, por meio de equações matemáticas, da amplificação da luz por emissão estimulada da radiação, a “Teoria da Emissão Estimulada” (MELLO; MELLO, 2001; NAVARRO, 2001).

Os lasers funcionam da seguinte forma: há um tubo, contendo o elemento necessário para cada tipo de laser, por exemplo, no caso do Argônio e CO₂, tem-se gás, e no caso do Nd:YAG, tem-se um cristal. Em uma extremidade do tubo, há um espelho completamente reflexivo e na outra extremidade, outro parcialmente reflexivo. Quando se aciona o aparelho, cria-se um estado de excitação das moléculas e, através dos princípios físicos da espontaneidade e da emissão estimulada, cria-se a radiação laser. O átomo excitado, espontaneamente sofre uma transição de um nível de energia a outro e libera um fóton de luz, o que é chamado de emissão espontânea. Dentro do tubo, os fótons refletem no espelho causando mais emissão estimulada e espontânea, somando na excitação. Estes fótons de luz, em fase passam pelo espelho semireflexivo e posicionando vários fótons juntos,

forma-se um feixe de luz laser, que é um tanto diferente das luzes convencionais, pois é *coerente*, ou seja, todos os fótons estão em coerência de tempo e espaço. Além disso, é *monocromática*, possui um comprimento de onda muito particular dentro do espectro eletromagnético, e é *colimada*, que significa que os raios não divergem. Outra característica dos lasers é o tipo de emissão, que pode ser pulsada ou contínua. No primeiro caso, nos intervalos entre os pulsos não há emissão de energia (PICK, 1993).

Quando o feixe de luz laser entra em contato com os tecidos, uma parte pode ser *refletida* e outra parte pode ser *espalhada* dentro do tecido, o que, em alguns casos, pode levar a danos em outras regiões distantes de onde aparentemente o feixe se propaga. Parte da luz remanescente é *absorvida*, tanto pela água presente no tecido como por algum outro cromóforo absorvedor, como a hemoglobina e a melanina. Finalmente, parte da luz pode ser *transmitida* ao longo de toda a espessura do tecido.

Os profissionais podem controlar algumas variáveis na utilização dos lasers. Ao optar por realizar um tratamento com laser, devem-se considerar quais serão os parâmetros usados. Esses parâmetros incluem: *comprimento de onda* (importante para determinar de que forma a luz afeta o tecido), *potência* (determina quantitativamente a extensão da reação), o *tipo de emissão* (contínua ou pulsada) e *as propriedades ópticas do tecido*. As propriedades ópticas do tecido, combinadas ao comprimento de onda do laser determinam se a energia luminosa será absorvida ou não. Caso não seja absorvida, não causará efeito algum (DEDERICH, 1993).

Utilizando um protocolo adequado, é possível consuir excelentes resultados com a utilização dos lasers nas diversas áreas da Odontologia. Entretanto, é importante que o profissional tenha fundamento teórico para operar os aparelhos

com surança evitando efeitos deletérios, como alteração da vitalidade pulpar, carbonização dos tecidos dentais duros e para não promover nenhum risco ao paciente e/ ou auxiliares técnicos

Quanto à qualidade final das restaurações, são vários os fatores que estão relacionados e que podem interferir no sucesso de um procedimento restaurador.

Yearn (1985) estudou os principais fatores que determinam as características de polimerização e conseqüente performance dos compósitos ativados por luz visível. Dentre esses fatores, o autor descreveu variáveis pertinentes à composição da resina composta, à luz incidente e ao profissional. No que diz respeito à composição dos materiais, as principais variáveis que determinam a cura do compósito são os índices de refração da resina e da carga, ou seja, fatores que podem facilitar ou dificultar a transmissão da luz. As diferenças na transmissão da luz podem ocorrer se os tamanhos das partículas de carga forem diferentes, pois isso pode influenciar a dispersão da luz. Quanto menor o tamanho da partícula, menor a profundidade de cura. Com relação à fonte de luz, o autor afirma que comprimentos de onda por volta de 470nm contribuem significativamente no processo de polimerização devido à absorção da canforquinona, que possui sua banda de absorção nessa faixa de comprimento de onda. Nesse trabalho, o autor cita estudos realizados que avaliam o efeito da intensidade luminosa sobre a cura de compósitos e afirma que o aumento da intensidade de luz não só afeta positivamente a profundidade de polimerização, mas também a dureza máxima da superfície. Dentre as variações pertinentes ao profissional, está o tempo de irradiação. A profundidade de cura aumenta quando também se aumenta o tempo de exposição. No entanto, sundo este autor, esta não é uma relação diretamente linear. Uma vez que o nível máximo de cura tenha sido alcançado nas camadas

superficiais, é difícil estender a cura aos níveis mais profundos com aumento do tempo de fotoativação, pois a luz simplesmente não pode alcançá-los. Outro fator questionado pelo autor é a recomendação do uso da técnica de varredura na polimerização de compósitos para cobrir restaurações de superfícies extensas. Uma técnica pontual com diversas exposições de duração conhecida é preferível. Salienta também que a distância entre a fonte de luz e a superfície da restauração é outro fator controlável pelo dentista, sendo que estudos mostram vantagens da maior proximidade possível da fonte de luz com a superfície da resina composta.

Ferracane e Greener (1986) estudaram o efeito da composição da resina composta, como concentração de diluente, tipo de catalisador no grau de conversão e nas propriedades mecânicas das restaurações de resina composta. Foram analisadas variáveis como resistência à tração diametral, resistência à compressão, dureza, módulo e resistência flexural e os resultados foram correlacionados com resultados de grau de conversão obtidos através de análise por infravermelho. Os resultados mostraram que o grau de conversão foi maior em resinas de baixa viscosidade e baixas concentrações de inibidores. Altas concentrações de inibidores reduziram as propriedades mecânicas das resinas. Houve uma significativa correlação positiva entre a melhora nas propriedades mecânicas e aumento do grau de conversão. Esses resultados sugerem, segundo os autores, que as propriedades da resina foram afetadas pelo grau de conversão e com isso concluíram que esses testes podem ser utilizados para que se possa presumir o grau de conversão das resinas.

Kelsey et al. (1989) estudaram o melhoramento das propriedades físicas da resina composta pela polimerização a laser. As propriedades estudadas foram: resistência compressiva, resistência à tensão diametral, resistência flexural e módulo

flexural de uma resina de micropartículas Todas as propriedades mostraram-se com melhores resultados, além de o autor ressaltar que todo o processo de polimerização foi executado com economia de $\frac{1}{4}$ do tempo gasto com a polimerização feita com luz halógena.

Blankenau et al. (1991) estudaram o grau de polimerização de duas resinas compostas, uma híbrida e uma microparticulada, através da separação e quantificação do monômero restante usando um sistema de cromatografia líquida. As amostras foram polimerizadas com luz halógena por 40 s e com o laser de argônio (HGM Argon 8) operando com potência de 1W. Obteve-se um alto grau de polimerização com laser de argônio na resina de micropartículas, o que não foi o caso da resina híbrida, que não apresentou diferença estatisticamente significativa com relação às duas fontes

Kelsey et al. (1989) em uma revisão de literatura afirmaram que o uso do laser de Argônio com potência de até 500mW com tempo de exposição reduzido (em torno de 10s), o que é normalmente indicado na polimerização de resinas compostas, mostra-se inofensivo à vitalidade pulpar.

Bayne, Heymann e Swift (1994) também citam alguns dos fatores envolvidos no grau de polimerização das resinas compostas e realçam que a inserção do material deve ser feita em camadas menores que 1,5 a 2,0mm a fim de minimizar o estresse da contração de polimerização. Além disso, lembram da dificuldade de penetração da luz em espessuras maiores, principalmente quando da utilização de cores mais escuras A distância entre a fonte de luz e a superfície do material é um fator que deve ser levado em consideração, sendo que quanto mais distante da superfície, menor será a energia depositada no processo de fotoativação. Além disso, recomendam aferir rotineiramente a cada semana a intensidade dos

aparelhos utilizados com um radiômetro, pois com o uso, ocorre deterioração do bulbo e dos filtros e tem-se uma perda da intensidade dos aparelhos, podendo comprometer a qualidade final do material polimerizado. Finalmente, alertam para o fato de que idealmente o tempo de exposição deva ser sempre maior que o indicado pelo fabricante para que se possam contornar todas as dificuldades apresentadas acima.

Rueggeberg, Caughman e Curtis (1994) avaliaram, por meio de um espectrômetro FTIR, o efeito da intensidade de luz e a duração da exposição de luz na polimerização da resina composta e os resultados mostraram que, em profundidades maiores que 2mm, a polimerização era deficiente e muito susceptível, em função de mudanças na intensidade de luz e do tempo de exposição. Os autores verificaram que a maior intensidade de luz pode favorecer a conversão em profundidade, devido à presença de maior número de fótons capaz de sensibilizar os fotoiniciadores, no entanto produz um efeito negativo com relação a contração de polimerização. De acordo com seus resultados, cada camada incremental não deveria exceder 2mm, sendo que 1mm seria uma espessura ideal. Alertam que aparelhos cuja intensidade seja menor que 233mW/cm^2 não devam ser utilizados por serem incapazes de promover uma polimerização adequada.

Tarle et al. (1998) analisaram o efeito de um laser pulsado na qualidade da polimerização das resinas compostas, determinando o grau de conversão, por meio de um espectrômetro FTIR, e contração de polimerização de diferentes materiais resinosos híbridos Compararam os Lasers XeCl excimer LPX 100 e LPD 3002. Concluíram que na polimerização com laser há uma fraca dependência entre a distância da superfície e da fonte de luz e que na polimerização com o laser pulsado pôde-se observar uma redução significativa da contração. Sundo os autores, essa

técnica difere da utilizada com laser de emissão contínua, pois além de assurar um alto teor de conversão da resina, promove uma baixa contração de polimerização. Isso se explica provavelmente porque o laser pulsado permite que ocorra um intervalo para esfriamento e relaxamento do material entre os nano-pulsos, o que não ocorre com os lasers contínuos

Burgess et al. (2002) avaliaram quatro fontes polimerizadoras quanto à resistência flexural, microdureza e profundidade de polimerização, contração de polimerização e a formação de fendas marginais Utilizaram o AccuCure 3000 com potência de 250mW/cm^2 por 10 s (Laser de argônio), KCP (Arco de plasma) por 20 s, Optilux 500 (luz halógena) por 40 s e Elipar Highlight por 40 s com os dois ciclos, ou seja, baixa intensidade de potência (150 mW/cm^2) nos primeiros 10 s aumentando para 700mW/cm^2 nos 30 s seguintes Os autores concluíram que a resistência flexural não foi influenciada pelos diferentes tipos de polimerização. O Optilux 500 obteve a mesma profundidade de polimerização do Elipar Highlight, enquanto que o AccuCure 3000 obteve a menor profundidade de polimerização. Quanto à dureza (medida nos três primeiros milímetros) o Elipar Highlight promoveu melhor dureza que os outros aparelhos O AccuCure levou a uma dureza inferior quando comparados às outras fontes Baseados nos resultados, os autores concluíram que os aparelhos com o modo “soft start” ou com dois estágios de polimerização produziram profundidade de polimerização adequada, dureza e resistência flexural adequados O aparelho Elipar Highlight com duas etapas de polimerização produziu menor fenda marginal que o AccuCure e o Optilux 500.

Tate, Porter e Dosch (1999) relataram em sua revisão de literatura que a intensidade de luz afeta as propriedades físicas do material restaurador e pode inclusive prejudicar a adesão do material restaurador ao elemento dental. Sendo os

autores, vários pesquisadores sugerem uma intensidade de luz mínima de 400mW/cm^2 a fim de assegurar uma completa polimerização. De maneira geral, uma exposição de 60 s promove melhor polimerização. Os autores indicam esse tempo de exposição, tendo em vista que uma completa polimerização não causaria problema à restauração, no entanto, o contrário poderia ocasionar falhas da restauração. Os autores também comentam que os fatores que influenciam na transmissão da luz através do material são espessura do incremento, quantidade e tamanho das partículas (partículas de $0,01\mu\text{m}$ a $1\mu\text{m}$ reduzem a penetração da luz devido à sua dispersão), a cor do material (tonalidades mais escuras dificultam a transmissão da luz), o formato da cavidade e a distância entre a fonte de luz e a superfície do material. Tendo em vista todos esses fatores, os autores preconizam um monitoramento regular dos aparelhos fotopolimerizadores, através da utilização de um radiômetro a fim de se certificar da qualidade da polimerização promovida pelo aparelho.

Lovell, Newman e Bowman (1999) estudaram o efeito da intensidade de luz, temperatura e a composição da resina no processo de polimerização e verificaram que tanto a temperatura quanto a intensidade de luz estão diretamente relacionados com o grau máximo de conversão. A temperatura aumenta a mobilidade molecular e conseqüentemente o grau de conversão. Com relação à composição, os autores afirmam que o TEGDMA é um excelente diluente uma vez que aumenta a mobilidade do meio; entretanto essa alta reatividade é devido à presença do Bis-GMA. Portanto, concluem que a quantidade de Bis-GMA tem grande influência no mecanismo e cinética de polimerização.

Silikas, Eliades e Watts (2000) estudaram a relação entre o grau de conversão e força de contração das resinas compostas Z-100 (3M-ESPE) e da

Tetric-Ceram (Ivoclar Vivadent) irradiadas por diferentes parâmetros de tempo e intensidade. O grau de conversão das resinas foi avaliado por meio de um espectro FTIR imediatamente após a fotoativação. As variações nos modos de irradiação foram os seguintes: I- 40 s com $750\text{mW}/\text{cm}^2$; II- modo soft-start (10 s com $200\text{mW}/\text{cm}^2$ + 30 s com $750\text{mW}/\text{cm}^2$); III- 40 s com $200\text{mW}/\text{cm}^2$ e IV- 10 s com $200\text{mW}/\text{cm}^2$. De acordo com os resultados, o modo soft-start não reduziu os valores de grau de conversão das resinas e não houve diferença na força de contração após 30 min quando comparado ao modo I (convencional). Os autores defendem o fato de que altas intensidades possam não ser essenciais e que baixas intensidades apenas retardariam a reação de polimerização. Afirmam que como o grau de conversão determina o grau de contração da resina, retardando a reação, diminui-se o estresse gerado e com o aumento do tempo de radiação permite-se que a resina tenha uma melhor acomodação na cavidade.

Com relação à espessura de incremento das restaurações, Yap (2000) estudou a efetividade de polimerização, por meio do teste de microdureza, em amostras de resinas de 2, 3 e 4mm. Verificaram que o grau de polimerização decresceu em função do aumento da espessura da amostra independentemente do tempo de exposição e concluíram que os incrementos de resina composta não devem ser superiores a 2mm e que com o aumento do tempo de exposição houve aumento no grau de dureza da resina na superfície, mas que o mesmo não aconteceu nas profundidades de 3 e 4mm.

Asmussen e Peutzfeldt (2001) estudaram a influência da polimerização tipo pulso-espera na estrutura de polímero formada. Verificaram que, apesar da quantidade de duplas ligações remanescentes não sofrer alteração quando comparado com o método convencional de polimerização, nesse modo de

fotoativação, o material tornou-se mais solúvel ao etanol. De acordo com os autores, esta maior solubilização estaria relacionada à estrutura do polímero, sendo que no modo de pulso-espera o polímero formado seria mais linear, com menos ligações cruzadas. A justificativa para esse tipo de estrutura é que nesta técnica de pulso-espera, tem-se a ativação inicial de poucas moléculas de canforquinona, formando poucos núcleos de crescimento do polímero e conseqüentemente uma propagação de polimerização relativamente linear. Ao contrário de quando se têm muitos núcleos de crescimento, a tendência é a formação de um polímero com maior grau de ramificações e ligações cruzadas.

Leonard et al. (2001) desenvolveram uma pesquisa a fim de que se pudesse determinar a irradiação mínima requerida para haver uma polimerização adequada de um compósito híbrido (Z-100) e um de micropartícula (Silux Plus), polimerizados por 40 e 60 s. Avaliaram por meio de teste de microdureza Knoop e calcularam a dureza percentual (razão entre os valores de dureza em profundidade e os valores de dureza do topo multiplicados por 100). As intensidades de irradiação do aparelho Optilux 401 foram variadas de 100mW/cm^2 a 700mW/cm^2 , com aumento a cada 25mW/cm^2 . Foram considerados valores de polimerização adequados os grupos que apresentavam uma dureza percentual de 80%. Os resultados mostraram diferenças nas intensidades necessárias para cada tipo de resina sendo que, a resina Z-100 requereu $260,1\text{mW/cm}^2$ com 40 s ou 185mW/cm^2 com 60 s para uma polimerização satisfatória e que a resina Silux Plus requereu $542,9\text{mW/cm}^2$ com 40 s ou 449mW/cm^2 por 60 s.

Lloret et al. (2001) avaliaram uma possível diferença na resistência adesiva da resina composta Z-250 aderida à dentina superficial bovina, através do sistema adesivo Scotchbond Multi-Purpose (3M) e polimerizada com o laser de Argônio em

duas diferentes distâncias (a 0,5 e a 6mm da superfície da resina composta). Concluíram que até 6mm de distância entre a fonte e a superfície de resina composta não houve diferença significativa nos valores de resistência adesiva.

Lloret (2002) avaliou a resistência de união á dentina, por meio do teste de tração, de uma resina microparticulada e de uma resina micro-híbrida polimerizadas por luz halógena e laser de argônio com diferentes parâmetros de energia. Verificou que a resistência de união promovida pela polimerização com laser (150mW e 200mW) por 10 e 20 s em incremento único foi inferior à luz halógena para ambas as resinas e que a resina micro-híbrida apresentou maiores valores de resistência adesiva que a resina de micropartícula na técnica de inserção incremental.

Rissi e Cabral (2002) discutiram as principais variáveis capazes de interferir no processo de fotopolimerização por luz halógena. Nesse trabalho foi realizado um experimento onde se avaliou distância da fonte de luz (2, 4 e 6mm), a cor (A2, B3 e C4) e a espessura de incremento (2, 4 e 6mm) da resina composta micro-híbrida TPH Spectrum (Dentsply) polimerizada com o fotopolimerizador Optilight 600 (Gnatus). Quanto maior a saturação e quanto maior a espessura do incremento, menor foi a quantidade de luz que atravessou a resina, reduzindo a sua intensidade.(redução de intensidade de luz de 89,03% para a cor A2, com 2mm de espessura a 99,03% para a cor C4, com 6mm de espessura. Com relação à distância da fonte, quanto maior a distância, menor a quantidade de energia luminosa que atinge a superfície do material, sendo que para 2mm de afastamento obteve-se 86,53% , para 4mm, 75% e para 6mm, 59,61%. Com base nos resultados, os autores concluíram que o controle clínico da fotopolimerização depende da observação da técnica inerente às resinas compostas (considerando-se os fatores interferentes na quantidade de energia luminosa disponível para o processo como

composição e cor da resina composta, espessura de incremento e distância da fonte de luz), do tempo de exposição suficiente e da monitoração periódica, através da utilização do radiômetro, para verificar o desempenho do fotopolimerizador.

Santos (2002) avaliou a extensão da polimerização superficial de uma resina composta microparticulada e uma micro-híbrida em relação à distância do centro da aplicação de luz da fonte fotoativadora por meio do teste de microdureza. Foi utilizado o laser de argônio por diferentes tempos de exposição (10, 20 e 30 s) e luz halógena por 40 s. O autor concluiu que os melhores resultados foram obtidos com a luz halógena e com laser de argônio por 30 s e que a dureza diminuiu conforme o distanciamento do centro de polimerização.

Yoon et al. (2002) estudaram o grau de conversão por meio de um espectro FTIR, de três diferentes resinas compostas fotoativadas por um LED, um aparelho de arco de plasma e uma luz halógena. Vários tempos de exposição, com intensidades fixas foram irradiadas para produzir o mesmo total de energia aplicada. O grau de conversão foi significativamente influenciado pelas três variáveis do material, profundidade de polimerização, fonte ativadora e quantidade de energia. O grau de conversão a 1 mm da superfície decresceu na seguinte ordem de acordo com o tipo de resina: a resina flow teve maior grau de conversão, seguida de uma resina híbrida e esta seguida de uma resina condensável. Quando a mesma energia foi irradiada, o grau de conversão obtido com as três fontes de energia estudadas não apresentou diferença estatisticamente significativa. Quando o total de energia duplicou, não houve diferença estatisticamente significativa até o segundo milímetro; no entanto, o grau de conversão diminuiu a partir do 3mm.

Asmussen e Peutzfeldt (2003) estudaram a influência da polimerização em dois passos (pré-polimerização de baixa energia seguida por um complemento de

polimerização com alta intensidade de energia) no grau de conversão e no amolecimento de uma resina composta. Verificaram que apesar da indicação desta técnica com o objetivo de diminuir o stress e a formação de fendas decorrentes da contração de polimerização, este modo de fotoativação promove uma superfície menos resistente ao etanol, portanto pode ter como resultado uma resina composta mais susceptível a degradação por substâncias presentes nos alimentos. Atribuem essa característica à formação de cadeias mais lineares e menos ramificadas durante o processo de polimerização.

Turbino (2004) também avaliou a profundidade de polimerização de uma resina composta micro-híbrida e microparticulada por meio de testes de dureza Vickers. Além das diferentes resinas, o autor estudou diferentes parâmetros de aplicação do laser de argônio (potência e tempo de exposição) e espessuras de resina (1, 2, 3 e 4mm). Concluiu que a resina de micropartícula polimerizou satisfatoriamente apenas na espessura de 1mm, tanto na fotoativação com luz halógena como com laser de argônio, sendo que o laser de argônio permitiu uma polimerização adequada apenas quando se utilizou 250mW e 30 s e na polimerização da resina micro-híbrida, o laser de argônio mostrou-se semelhante à luz halógena apenas na espessura de 1mm, sendo que nas demais, a luz halógena apresentou os melhores resultados.

Rode, Lloret e Turbino (2005) avaliaram a microdureza Vickers de uma resina composta micro-híbrida e microparticulada polimerizadas com luz halógena e laser de argônio nos três primeiros milímetros de profundidade. Avaliando-se a qualidade da polimerização, a micro-híbrida atingiu um grau satisfatório de dureza no primeiro e segundo milímetro com luz halógena por 20 e 40 s e apenas no primeiro milímetro

com laser de argônio por 30 s A resina microparticulada atingiu grau satisfatório de polimerização somente com luz halógena por 40 s

Pesquisas procuram formas de avaliar o grau de polimerização dos compósitos Para uma avaliação quantitativa da porcentagem desses monômeros que foram convertidos em polímeros, pode-se utilizar a espectroscopia vibracional que é um instrumento de caracterização capaz de investigar a estrutura microscópica da matéria, seja ela orgânica ou não. A espectroscopia Raman com transformada de Fourier (FT-Raman) é realizada com um tipo de espectrômetro capaz de possibilitar a obtenção do espectro de substâncias inclusive em meio aquoso, além de se tratar de uma técnica de análise não destrutiva, que combinada com o uso de fibras ópticas, permite a monitoração remota de amostras como é o caso de pesquisas biomédicas que estuda tecidos “in vivo” (FARIA; SOUZA, 1999). A espectroscopia Raman é uma técnica que estuda a vibração dos átomos nas moléculas O espectro é obtido incidindo-se radiação de luz laser (Nd:YAG) em uma amostra e determinando-se que fração de radiação incidente é espalhada em uma energia particular. A energia em que cada banda aparece no espectro corresponde à frequência de uma vibração normal da molécula amostrada (CORRÊA, 2003), neste caso especificamente, observaremos as bandas de espalhamento das duplas ligações de carbono alifáticas e aromáticas

A técnica de espectroscopia Raman apresenta algumas vantagens em relação à espectroscopia FTIR incluindo fatores como preparação simples da amostra, obtenção de concentrações químicas e minerais de substratos como esmalte e dentina, bem como a formação de fluoretos de cálcio no esmalte. Por meio da espectroscopia Raman é possível, por exemplo, verificar a diferença entre o fluoreto de cálcio formado no esmalte a partir do tratamento com uso tópico de flúor

é diferente do fluoreto de cálcio puro. Além disso, o FT-Raman (Fourier transform) que foi desenvolvido para solucionar alguns problemas oriundos da técnica Raman, como a fluorescência das amostras irradiadas (CORRÊA, 2003), pode ser utilizado para obter sinais livres de fluorescência de materiais biológicos e identificação de componentes minerais presentes no cálculo dental (TSUDA; ARENDS, 1997).

Essa nova tecnologia pode contribuir grandemente para uma avaliação quantitativa complementar sobre a polimerização de resinas compostas sob diferentes fatores de variação. Além disso, com ela é possível estudar a qualidade da interface adesiva sob vários aspectos como espessura da camada híbrida, preenchimento total ou parcial do adesivo na dentina desmineralizada (SUZUKI; KATO; WAKUMOTO, 1997; VAN MEERBEEK et al., 1993), possíveis reações químicas entre o sistema adesivo e o substrato dentinário (OZAKI et al., 1992; SUZUKI; KATO; WAKUMOTO, 1997), no que diz respeito a qualidade de polimerização do adesivo na camada híbrida (MIYAZAKI et al., 2003).

Xu et al. (1997) avaliaram por meio da espectroscopia Raman, a estrutura molecular de uma resina composta a base de zircônia polimerizada e submetida a pressão e verificaram uma compactação da estrutura sob alta pressão. Essa compactação significa mudanças nas distâncias atômicas e nos ângulos das ligações químicas da resina. Este estudo teve como objetivo principal avaliar o comportamento do material, simulando uma condição de alto estresse mastigatório.

Pianelli et al. (1999) utilizaram a espectroscopia Raman como método alternativo à espectroscopia FTIR, na determinação o grau de conversão de uma resina composta micro-híbrida polimerizada com uma luz halógena. Os autores afirmam que essa metodologia é de mais fácil aplicação do que quando comparada a FTIR e com ela é possível avaliar a profundidade de polimerização de uma resina

composta, no entanto advertem para o fato de que as metodologias de dureza de módulo de elasticidade são mais sensíveis na avaliação de mudanças no grau de conversão quando se estuda o material após 24 h. Uma possível explicação para este fato seria que a acuidade do experimento não seria tão sensível a pequenas variações das cadeias insaturadas ou que as mudanças na estrutura após a polimerização estariam relacionadas a uma recombinação dos radicais dentro da cadeia polimérica.

Da mesma forma, LELOUP et al. (2002) determinaram a profundidade de polimerização, por meio de espectroscopia Raman, de uma resina composta exposta a diferentes parâmetros clínicos e condições de polimerização e concluíram, dentre outros fatores, que uma redução na profundidade de polimerização é obtida quando a intensidade da fonte ativadora é de 300mW/cm^2 e quando a distância da fonte é maior que 20mm.

2.2 Resistência Flexural

As propriedades mecânicas dos materiais são regidas pelas leis da mecânica, que é a ciência física que lida com energia e força, e seus efeitos nos corpos. De um modo geral, resistência se refere à tensão necessária para causar fratura ou uma quantidade específica de deformação plástica em um determinado material (ANUSAVICE, 2005).

No caso de resistência transversal ou flexural (como é descrita na literatura odontológica), a carga aplicada exerce uma força de flexão ou dobramento. Em

outras palavras, é obtida quando se aplica carga numa viga simples, com a carga sendo aplicada no meio (teste de flexão de três pontos) (CRAIG; POWERS; WATANA, 2004).

Módulo de elasticidade (Módulo de Young) descreve a relativa rigidez de um material, que é medida pela porção elástica de um diagrama tensão/deformação. As forças interatômicas ou intermoleculares de um material são responsáveis pela propriedade de elasticidade. Quanto maiores os valores do módulo de elasticidade, maior é a rigidez do material. Portanto, depende da composição do material (CRAIG; POWERS; WATANA, 2004).

A flexão dos dentes ocorre normalmente quando estão em função e é responsável pela deformação ao longo da junção amelo-cementária, sendo de fundamental importância que o material seja capaz de acompanhar essa flexão para garantir o sucesso da restauração (BAYNE; HEYMANN; SWIFT, 1994).

Unterbrink e Muessner (1995) estudaram o efeito da variação da intensidade de luz em algumas características de dois sistemas restauradores, como resistência flexural, profundidade de polimerização e adaptação marginal. Concluíram dentre outras coisas que os dois materiais testados diferem consideravelmente nas respostas quanto às variações nas intensidades de luz e que a utilização de alta intensidade de luz na fotoativação pode reduzir a qualidade marginal.

Cobb, Vargas e Rundle (1996) avaliaram e compararam a resistência à tensão diametral, resistência à compressão e resistência flexural de duas resinas compostas, uma de micro-partículas e uma híbrida, fotoativadas por 40 s com um aparelho de luz halógena e por 10 e 20 s com laser de argônio. A metodologia empregada para o teste de resistência flexural baseou-se na normativa da ADA#27, que coincide com a Norma ISO 4049. Observaram que não houve diferença

estatisticamente significativa na resistência flexural entre os grupos estudados para a resina híbrida.

Arcís et al. (2002) verificaram a diferença nas propriedades físicas de microdureza e resistência flexural de duas resinas experimentais fotoativadas, compostas por duas bases monoméricas distintas (uma de Bis-GMA + TEGDMA e outra de Bis-GMA + HEMA) e ambas com reforço de hidroxiapatita no componente inorgânico. Com relação à resistência flexural, os resultados do trabalho mostraram que a resina composta com Bis-GMA + TEGDMA apresentou menor resistência flexural. Os autores atribuem esse resultado ao fato de a mistura Bis-GMA + HEMA apresentar maior quantidade de ligações cruzadas. Atribuem isso ao fato de a molécula de HEMA ser menor que a de TEGDMA, e ter maior mobilidade para reagir e se ligar a outras moléculas. Portanto, com maior o número de ligações, obteve-se maior grau de conversão, e conseqüentemente, maior resistência flexural.

Yap e Teoh (2003) compararam a resistência flexural de quatro resinas compostas comercializadas, utilizando a metodologia da ISO 4049 e teste de mini-resistência flexural. O primeiro emprega espécimes de 25x2x2mm e o sundo, 12x2x2mm. Verificaram que com ambas as dimensões os resultados de resistência flexural foram idênticos Porém, houve diferença estatisticamente significativa entre as diferentes resinas estudadas, sendo que a de micro-partícula apresentou o menor valor de resistência flexural, por apresentar menor volume de carga inorgânica. Defendem a opção do teste de mini-resistência flexural ser mais vantajoso, pois sundo os autores, é o que aproxima da realidade clínica. As dimensões das amostras são mais compatíveis com as dos dentes; além disso, não exige tantas exposições de luz para ser fotoativada, o que também corresponde aos procedimentos clínicos

Lovell et al. (2003) compararam o efeito de duas intensidades de luz (200 e 1800mW/cm²) na resistência flexural e grau de conversão de uma resina composta experimental sem carga, utilizando luz halógena e arco de plasma. Neste estudo, em geral, os polímeros irradiados pela fonte de alta intensidade de luz exibiram maior grau de conversão. Entretanto, com o aumento da intensidade de luz, também se observou um aumento da temperatura durante a polimerização. Os autores relatam que o maior grau de conversão resultou de uma associação entre efeitos luminoso e térmico. Não houve correlação entre o grau de conversão e a resistência flexural. A conclusão é que a intensidade de luz não afeta a resistência flexural uma vez que os resultados de grau de conversão foram similares

Ruiz et al. (2003) destacam o teste de resistência flexural em três pontos como o mais utilizado para o estudo das propriedades mecânicas das resinas compostas. Neste trabalho os autores avaliaram a resistência flexural e o módulo de elasticidade de resinas compostas modificadas ou não com poliácidos. Para tanto foram preparadas cinco amostras de cada grupo, seguindo a norma ISO 4049. Verificaram que a resistência flexural de uma resina composta modificada com poliácidos (Ionosit) foi inferior a das outras resinas estudadas e lembram que os fatores que mais influenciam nas propriedades mecânicas de um material resinoso é o volume de carga, seu tamanho e distribuição, e as interações entre carga e matriz, sendo o volume de carga a propriedade que mais se relaciona com a resistência do material, com o módulo de elasticidade, assim como sua resistência à fratura.

Musanje e Darvell (2003) avaliaram a resistência flexural de quatro resinas compostas fotoativadas por dois tipos de lâmpada (QH - 250W, 24V e lâmpada PA – Arc Light IIM) com intensidades variando de 25 a 1500mW/cm² e tempos de exposição de 1 a 3000s. Afirmam em sua pesquisa que fontes de luz de alta

intensidade podem conferir propriedades mecânicas satisfatórias, no entanto o tempo de exposição pode ultrapassar ao indicado pelo fabricante e que mesmo utilizando baixas intensidades é possível atingir um adequado grau de polimerização quando irradiado por um intervalo de tempo suficiente. Parâmetros como intensidade de luz e tempo de exposição para cada espessura de incremento deveriam estar nas recomendações dos fabricantes, sendo que para cada material ou fonte ativadora utilizada, pode-se ter diferentes protocolos em virtude de variações na composição das resinas e no espectro de emissão de cada fonte de luz.

Matson (2003) estudou a resistência flexural de duas resinas compostas (uma microparticulada e uma micro-híbrida fotoativadas com laser de argônio (com diferentes densidades de energia) e luz halógena e verificou que não houve diferença estatisticamente significativa entre as diferentes fontes para a resina micro-híbrida. No entanto, na fotoativação da resina microparticulada, a luz halógena apresentou melhor resultado de resistência flexural quando comparado ao laser de argônio.

Peutzfeldt e Asmussen (2005) estudaram a resistência e módulo flexural e o grau de conversão de uma resina composta fotoativada com diferentes densidades de energia e diferentes combinações de densidade de potência e tempo de exposição. Neste estudo, observaram que o grau de conversão, a resistência e o módulo flexural aumentaram com o aumento da densidade de energia. Para cada densidade de energia estudada, o grau de conversão diminuiu com o aumento da densidade de potência; e a resistência e módulo flexural resultaram em valores máximos quando associados a valores de densidade de potência intermediários. Os autores afirmam que para uma determinada densidade de energia, a combinação entre uma longa exposição e baixa densidade de potência resulta em maior grau de

conversão do que quando comparados a uma alta densidade de potência com menor tempo de exposição. Explicam que isto ocorre, pois as propriedades mecânicas são altamente influenciadas pelo grau de ligações químicas ocorrido no processo de polimerização das resinas compostas. Se a densidade de potência aumenta e o tempo de exposição simultaneamente diminui, o grau de conversão diminui e o comprimento das cadeias formadas também diminui, mas sua frequência aumenta. O efeito nas propriedades mecânicas de grau de conversão e a frequência de ligações estão em direções opostas e pode explicar a relação parabólica encontrada entre resistência flexural e a intensidade de radiação. Contrariam a afirmação de que a variável mais importante é a densidade de energia e defendem que o que importa é a correta associação entre tempo de exposição e densidade de potência, pois verificaram em seus resultados que a utilização de alta densidade de potência por um tempo de exposição curto promoveu valores de resistência flexural menores que a utilização de valores de densidades de potência intermediários combinados a tempos de exposição mais longos.

Danesh et al. (2005) compararam a resistência flexural, a sorção de água, a contração volumétrica e a quantidade de dupla ligações remanescentes de uma resina autopolimerizável (Palapress) e quatro resinas fotopolimerizáveis (Acrylight, Primosplint, Triad TranSheet transparente e Rosa) para a realização de *splint* oclusal. Sendo os resultados obtidos, as resinas fotopolimerizáveis estudadas mostraram-se uma boa alternativa na confecção de *splints* oclusais, podendo conferir resultados clínicos satisfatórios.

Pereira et al. (2005) investigaram a influência de novos agentes diluentes, quantidade de diluente e quantidade de carga na resistência flexural e microdureza de resinas compostas contendo o Bis-GMA como matriz orgânica e comparar tais

propriedades com resinas compostas constituídas por TEGDMA como diluente. A metodologia utilizada para a realização dos testes de resistência flexural foi baseada na norma ISO 4049. Os materiais compostos por CH₃ Bis-GMA mostraram um aumento da microdureza Vickers. As médias de resistência flexural foram maiores para as matrizes contendo TEGDMA e a carga teve especial melhora nos valores de microdureza e módulo de elasticidade.

Lohbauer et al. (2005) estudaram o efeito de diferentes fontes de luz e modos de irradiação na resistência flexural, fadiga do material e o grau de conversão de uma resina composta híbrida fotoativada. Neste trabalho foram utilizadas uma fonte de luz halógena (700mW/cm², 28J/cm², 40 s), um arco de plasma (1320mW/cm², 12 J/cm², 3x3 s) e dois LEDs (400mW/cm², 16J/cm², 40 s e 1000mW/cm², 40 J/cm², 40 s) para a fotoativação da resina composta. Utilizaram a metodologia indicada pela ISO 4049 no estudo da resistência flexural e um espectrômetro FTIR (*Fourier transform infrared micromultiple internal reflectance spectroscopy*). Os maiores valores de resistência flexural, limite de fadiga e grau de conversão foram observados com moderada intensidade de energia, uma vez que a luz halógena exibiu uma polimerização mais homogênea e eficiente em profundidade com menos perda da resistência mecânica quando submetida à fadiga. A fotoativação com intensidades de energia muito altas não resultou em uma adequada polimerização, visto que estes grupos apresentaram valores inferiores de módulo flexural e menor profundidade de polimerização.

Ge, Trujillo e Stansbury (2005) conduziram um estudo a fim de verificar se uma nova formulação de resina composta fotopolimerizável (à base de monômeros de dimetacrilato com grupos substitutos de maior peso molecular) poderia apresentar menor contração de polimerização, sem diminuir o grau de conversão e

as propriedades mecânicas dos polímeros Para a avaliação da resistência flexural basearam-se na metodologia proposta pela norma ISO 4049 e verificaram que a nova formulação experimental diminuiu a contração de polimerização, mas não houve evidência de que essa redução tivesse relação com o tamanho das cadeias poliméricas formadas Os grupos de alto peso molecular testados melhoraram a conversão das duplas ligações e ajudaram a manter as propriedades mecânicas resultantes do polímero, as quais poderiam ter diminuído devido à redução da densidade de ligações

2.3 Microinfiltração

Nakamichi, Iwaku e Fusayama (1983) em um estudo sobre a resistência adesiva de duas resinas compostas ao esmalte e à dentina bovinos, com o objetivo de encontrar um substituto para os dentes humanos em testes de adesão. Examinou-se também o efeito da profundidade da dentina e os resultados mostraram que a resistência adesiva à dentina bovina superficial foi mais alta quando comparada à dentina bovina profunda e que, apesar de a média dos valores de resistência adesiva da dentina bovina serem sempre ligeiramente inferiores aos valores obtidos na dentina humana, não houve diferença estatisticamente significativa entre os dois tipos de substrato. Os autores concluíram, portanto, que os dentes bovinos são úteis como substitutos do esmalte e dentina humanos em testes de adesão.

Davidson, Gee e Feilzer (1984) estudaram a influência da contração de polimerização, durante o processo de fotoativação, na adesão a dentina de duas resinas compostas microparticuladas, uma quimicamente ativada (Silar- 3M) e uma fotoativada (Silux- 3M). Para avaliar a contração de polimerização utilizaram dois modelos experimentais: um linear e outro em 3 dimensões. O primeiro utilizando um tensilômetro, no qual uma fatia de dentina bovina aderida às resinas era acoplada e obtinha o registro de deslocamento resultante das forças de contração de polimerização. Observaram que, durante todo o processo de polimerização, a adesão resistiu ao estresse de contração, o que pode ser explicado pela capacidade de relaxação da resina, que ocorre suficientemente nesta configuração. No modelo tridimensional, foram preparadas e restauradas cavidades de Classe V, que após serem armazenadas por 48 h a 37°C, foram cortadas no centro e imersas em solução de azul de metileno por 10 min. As margens foram examinadas em estereomicroscópio para checar a integridade da adesão. Verificaram que, nesta situação, o escoamento ou relaxação da resina é severamente limitado e os valores de contração excederam aos de resistência adesiva, resultando em falhas adesivas. Os autores concluíram que não só o desenvolvimento de adesivos com grande resistência de união, mas também a utilização de resinas com menor contração e a configuração cavitária exercem grande influência no selamento marginal das cavidades restauradas com materiais resinosos.

Aw e Nicholls (1997) estudaram a contração de polimerização em resinas onde foram utilizados o laser e a luz convencional. Os parâmetros do laser de argônio (Argon Laser – Premier Laser Systems) utilizados foram 300mW com diâmetro da ponta de 6mm e da luz halógena, 600mW com diâmetro de 11mm. Os

pesquisadores não verificaram nenhuma diferença significativa entre os dois métodos.

Mehl, Hickel e Kunzelmann (1997) estudaram a influência da polimerização tipo *softstar* com diferentes condições iniciais de polimerização, nas propriedades físicas de duas resinas compostas (Tetric, cor A3- Vivadent e Charisma, cor A2-Kulzer) e a formação de fendas marginais. À parte, os autores avaliaram a condição das margens de restaurações de Classe V abrangendo a junção amelo-cementária antes e depois da termociclagem. Para estudo da microinfiltração marginal, os dentes com as cavidades preparadas e restauradas, foram armazenados por 24 h a 37°C e a partir de moldes feitos com silicona, foram replicados. Os modelos foram preparados para análise em microscópio eletrônico de varredura e documentados quanto a condição das margens antes da termociclagem. Os dentes foram então submetidos a termociclagem de 500 ciclos, com banhos de 30 s em cada reservatório de 5°C e 55°C. Novamente foram realizadas réplicas das restaurações para posterior análise. Além de análise microscópica, os dentes também foram analisados quanto a penetração de corante (azul de metileno, por 5 min). Os resultados indicaram que a utilização de uma fotoativação inicial com menor intensidade de luz, seguida de uma ativação final com alta intensidade de energia não interferiu nos valores de microdureza, e aumentou a resistência flexural. Os autores verificaram ainda que com essa técnica de fotoativação *softstart* a integridade marginal mostrou-se significativamente melhor do que quando comparada a fotoativação utilizando apenas alta densidade de energia.

Jedrychowski, Bleier e Caputo (1998) tiveram como objetivo da pesquisa visualizar em modelos fotoelásticos de molares decíduos, o estresse causado pela contração de polimerização, quando da inserção da resina composta em preparos

de duas superfícies (mesial e oclusal), utilizando diferentes técnicas de inserção. As técnicas de inserção estudadas foram: técnica oblíqua, gengivo-oclusal, vestibulo-lingual e a quarta técnica, onde primeiro se preenche completamente a caixa proximal e se fotoativa a resina e em seguida, toda a oclusal, completando o processo de fotoativação. Verificaram pequenas diferenças no estresse causado pela contração quando observados a partir das técnicas de inserção estudadas. Encontraram que o menor estresse gerado pela contração de polimerização ocorreu na última técnica, onde se preenche e polimeriza a porção proximal e se conclui a restauração na caixa oclusal.

Fleming e Maillet (1999) compararam a polimerização convencional com a de laser e concluíram que com o laser de argônio, o grau de conversão era maior, assim como o poder de penetração também era maior que com a luz halógena. Além disso, houve aumento das propriedades físicas e redução do tempo de polimerização. No entanto, advertem para o aumento da microinfiltração e contração de polimerização, provocados pela rápida polimerização consuída com o laser.

Toledano et al. (2000) avaliaram o efeito da desproteínização da dentina na microinfiltração nas restaurações de Classe V. Foram utilizados 10 dentes humanos, nos quais se prepararam cavidades de Classe V nas faces vestibulares e linguais. Os dentes foram divididos em dois grupos: um onde se condicionou esmalte e dentina com ácido fosfórico e o outro onde após o condicionamento com o ácido fosfórico, se desproteínizou a dentina com hipoclorito de sódio a 5% por dois min para evitar a formação da camada híbrida. As cavidades foram restauradas com a resina composta TPH (Dentsply) e o sistema adesivo Prime & Bond 2.1 (Dentsply). Os espécimes foram armazenados a 37°C por 24 h e termociclados com 500 ciclos de banhos intercalados de 5°C e 55°C. Após a termociclagem as amostras foram

imersas em solução aquosa de fucsina básica a 0,5% por 24 h. As restaurações foram seccionadas longitudinalmente e examinadas em estereomicroscópio para uma análise qualitativa do grau de microinfiltração. As margens oclusais apresentaram significativamente menor grau de microinfiltração do que as margens gengivais em ambos os grupos. Para cada tipo de margem não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos de condicionamento e condicionamento + desproteinização. A formação de fendas nas margens gengivais ocorreu independentemente da presença da camada híbrida.

Toledano et al. (2001) objetivaram em sua pesquisa avaliar a molhabilidade da dentina humana superficial e profunda por quatro sistemas adesivos, bem como relacioná-la a eficiência adesiva. Os quatro sistemas adesivos utilizados foram o Scotch Bond Multipurpose Plus (3M), Syntac Single Component (Vivadent), One-Step (Bisco) e Heliobond (Vivadent). A rugosidade da dentina e o ângulo de contato da água foram medidos antes e depois do condicionamento ácido. A molhabilidade da dentina foi estudada pela medida do ângulo de contato em função do tempo. O teste de resistência ao cisalhamento foi realizado utilizando a metodologia descrita por Watanabe, Powers e Lorey (1998) e a microinfiltração foi estudada em cavidades de Classe V. Para a avaliação da microinfiltração, os preparos foram realizados na junção amelo-cementária das faces vestibular e lingual dos dentes. As cavidades com as dimensões de 3mm (sentido mesio-distal) X 2mm (gengivo-oclusal) x 2mm (profundidade) eram realizadas com brocas carbide # 330 em alta rotação com refrigeração a água. A aplicação dos sistemas adesivos respeitou a indicação dos fabricantes e a inserção da resina composta (Z-100- 3M) foi realizada em dois incrementos de 1mm. As restaurações recebiam acabamento e polimento com discos de lixas abrasivos. As amostras eram armazenadas em água destilada por 24

h a 37°C e então termocicladas. Após a termociclagem, os dentes eram impermeabilizados, exceto a 1mm ao redor da restauração. Os dentes eram imersos em solução aquosa de fucsina básica por 24 h e enxaguados por 5 min em água destilada. Com um disco de diamante, os dentes eram seccionados no sentido vestibulo-lingual para a obtenção de três cortes. A extensão da microinfiltração era avaliada em milímetros em um microscópio óptico. O condicionamento ácido aumentou a rugosidade dentinária e a molhabilidade, não havendo diferença entre os condicionadores estudados. A rugosidade e molhabilidade foram maior na dentina profunda. A molhabilidade e resistência ao cisalhamento foram semelhantes para os sistemas adesivos avaliados, exceto Heliobond que obteve menores valores. A microinfiltração foi maior nas paredes gengivais. A molhabilidade da dentina pôde ser correlacionada à resistência ao cisalhamento e à microinfiltração. O condicionamento ácido da dentina promoveu rugosidade e alterações na molhabilidade semelhantes. Para um substrato semelhante, a adesão depende da química e das características de molhabilidade das resinas.

Aguiar, Ajudarte e Lovadino (2002) avaliaram a microinfiltração de uma resina composta para posteriores (P-60- 3M ESPE) inserida pela técnica incremental (3 incrementos de 1mm) e técnica de incremento único (3mm) e polimerizada por três diferentes modos com luz halógena (Degulux *Soft-star*- Degussa-Hulls). Neste trabalho, realizaram preparos cilíndricos (2,0 ±0,5mm de diâmetro X 4,0mm de profundidade) em cubos de esmalte bovino incluídos em resina epóxica. Os espécimes foram divididos em seis grupos experimentais: duas técnicas de inserção e três modos de polimerização (convencional – 680mW/cm²/ 30 s; *soft-start* - 380mW/cm²/ 10 s + 680mW/cm²/ 20 s; distância da ponta do aparelho de fotoativação de 1,3cm - 200mW/cm²/ 10 s + 680mW/cm²/ 20 s). As amostras foram

termocicladas e coradas com solução de azul de metileno por 12 h. A análise do grau de microinfiltração das restaurações foi realizada por meio de absorção eletrônica. Para isso, os blocos foram triturados e levados ao aparelho de espectrofotometria, onde foi obtida a absorbância para o corante utilizado e determinar então a quantidade de corante penetrado entre dente e restauração. Os autores observaram que nenhuma técnica de inserção ou método de fotoativação evitou a microinfiltração. A técnica de *soft-start* com distância de 1,3cm apresentou as menores médias de infiltração, sendo estatisticamente significativa em relação à técnica convencional. Neste trabalho a técnica incremental apresentou maiores valores de microinfiltração que a técnica de incremento único e os autores acreditam que o que ocorre é que nas camadas mais profundas há uma deficiência no grau de polimerização acarretando com isso menor contração de polimerização. No entanto, contra-indicam a utilização de incrementos únicos em cavidades de profundidades maiores de 2mm.

Alves (2002) realizou um estudo onde avaliou a microinfiltração de restaurações de classe V com resina composta micro-híbrida fotoativada por laser de argônio e luz halógena utilizando diferentes intensidades de luz. O autor utilizou dentes bovinos para o preparo das cavidades. Os resultados da análise dos escores de microinfiltração revelaram que não houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes estudadas, sendo que nenhuma das fontes estudadas impediu a ocorrência de microinfiltração.

Barros et al. (2003) avaliaram a microinfiltração de duas resinas compostas (Charisma e Z-250) fotoativadas por quatro métodos diferentes de fotoativação (convencional - 680mW/cm²/ 30 s; *soft-start*- 380 mW/cm²/ 10 s + 680mW/cm²/ 20 s; arco de plasma 1480mW/cm²/ 3 s; 380 mW/cm²/ 10 s + 1480mW/cm²/ 3 s). A

metodologia de preparo dos espécimes bem como a análise em espectrofotômetro é igual à descrita no trabalho anterior. Neste estudo, verificaram que a utilização de uma intensidade de energia menor resultou em menores médias de microinfiltração, mesmo quando foi utilizada em combinação com alta intensidade de luz como forma complementar de fotoativação. No entanto, nenhuma técnica evitou a microinfiltração.

Cavalcante et al. (2003) estudaram a influência de três técnicas de polimerização (convencional – 800mW/cm²/ 40 s; *soft-start* - 75 mW/cm²/ 10 s + 518mW/cm²/ 30 s e arco de plasma - 1468mW/cm²/ 3 ou 6 s) na microinfiltração e microdureza de uma resina composta micro-híbrida (Filtek Z-250) e uma resina composta condensável (SureFil). Foram realizadas cavidades de Classe II que após serem restauradas foram submetidas à termociclagem (1000 ciclos / 5°C e 55°C) e então imersas em azul de metileno a 2% por 4 h. Quanto à dureza Knoop, a superfície apresentou dureza maior que a porção média suída da parte mais profunda da amostra. Com relação à microinfiltração, não houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes fotoativadoras para a resina micro-híbrida. No entanto, para a resina condensável a técnica convencional foi semelhante à técnica *soft-start* e ambas apresentaram menor microinfiltração comparadas à utilização de arco de plasma.

Muangmingsuk, Senawongse e Yudhasaraprasithi (2003) também pesquisaram a influência de diferentes técnicas de polimerização *soft-start* na adaptação marginal de restaurações de Classe V utilizando uma resina composta micro-híbrida (Z-100). Além da técnica de fotoativação empregada, os autores também variaram a técnica de inserção (incremento único ou técnica incremental). Os dentes foram termociclados (500 ciclos / 5°C e 55°C) e corados com azul de

metileno a 37°C por 6 h Os escores para determinação do grau de microinfiltração foram os seguintes: 0 – sem penetração de corante; 1- penetração de corante até metade das paredes oclusal ou gengival; 2- penetração de corante ao longo das paredes oclusal ou gengival; 3 - penetração de corante ao longo da parede axial. Os autores verificaram que a microinfiltração nas margens gengivais foi maior que nas margens oclusais, que não houve diminuição da microinfiltração utilizando técnicas de fotoativação do tipo *soft-start* quando comparadas à técnica convencional e que não houve diferença entre as técnicas de inserção da resina composta no grau de microinfiltração.

Reis et al. (2004) utilizaram dentes bovinos em sua investigação sobre a influência dos preparos feitos com abrasão a ar na microinfiltração de Classe V restauradas com cimento de ionômero de vidro. Para isso utilizaram as faces vestibulares e realizaram os preparos, sendo que a margem incisal localizava-se em esmalte e a gengival em dentina. As dimensões das cavidades eram (4mm no sentido mesio-distal X 3mm sentido gengivo-oclusal X 2mm de profundidade). Neste estudo, os dentes também foram termociclados com 500 ciclos (5°C e 55°C). Os dentes foram corados com solução aquosa de nitrato de prata a 50% por 8 h e posteriormente seccionados para análise do grau de infiltração do corante. Os resultados mostraram que houve menor grau de microinfiltração nas margens oclusais do que nas margens gengivais Foi concluído que preparos feitos com abrasão a ar e restaurados com cimento de ionômero de vidro não tiveram influência na microinfiltração.

Choi et al. (2004) estudaram o efeito da configuração cavitária na resistência flexural, na resistência adesiva e na microinfiltração de uma resina composta híbrida (Clearfil AP-X - Kuraray) e uma micro-híbrida (Esthet-X - Dentisply). As cavidades

realizadas nas faces vestibulares de dentes bovinos apresentavam as dimensões de 3, 4 e 6mm de diâmetro e 2mm de profundidade. O teste de resistência flexural foi realizado segundo as normas da ISO 4049 e teve como resultado uma tendência de diminuição da resistência flexural com o aumento no fator de configuração cavitária, não havendo diferença entre as resinas. No teste de micro-tração, houve uma diminuição da resistência adesiva com o aumento do fator – C para ambas as resinas, sendo que o grupo controle, onde a adesão ocorria em apenas uma superfície de dentina (C=1), apresentou o maior valor de resistência adesiva. Com relação à microinfiltração, todas as amostras apresentaram algum grau de microinfiltração não havendo diferença estatisticamente significativa entre as resinas. Apesar de não ter havido diferença estatisticamente entre os grupos, houve uma tendência de aumento da microinfiltração com o aumento da configuração cavitária. Portanto, concluiu-se que o fator de configuração cavitária afeta as propriedades mecânicas das resinas compostas e a força de união entre o material e o substrato.

Kubo et al. (2004) pesquisaram o efeito de diferentes formas de fotoativação na microinfiltração de restaurações de Classe V com resina composta híbrida (Clearfil – AP-X- Kuraray). As cavidades (3,8mm de diâmetro x 1,5mm de profundidade) foram preparadas nas faces vestibulares de dentes incisivos bovinos. Os grupos foram avaliados também com relação ao fato de terem sido termociclados ou não (5000 ciclos 5 – 60°C). Após serem submetidos ou não à termociclagem, os dentes foram impermeabilizados e corados com solução aquosa de fucsina básica a 0,5%. Não encontraram diferença estatisticamente significativa nos valores de microinfiltração entre as fontes de luz estudadas. As restaurações tenderam a apresentar maior microinfiltração quando submetidas à termociclagem, embora não tenha havido diferença estatisticamente significativa.

Osório et al. (2004) conduziram um estudo *in vitro* para determinar o efeito de duas diferentes condições de umidade da dentina (desidratada ou úmida) na durabilidade da adesão dentinária, utilizando um sistema adesivo autocondicionante (Clearfil SE Bond – Kuraray). As variáveis estudadas foram a resistência adesiva (teste de micro-tração) e a microinfiltração e os fatores de variação foram ciclagem mecânica e armazenamento com NaOCl (para avaliar a degradação da interface adesiva). De acordo com os resultados obtidos, verificaram que a aplicação do sistema adesivo em dentina completamente desidratada promoveu maiores resultados de resistência adesiva na avaliação após 24 h. A ciclagem mecânica diminuiu a resistência adesiva em dentina desidratada e aumentou a penetração do corante nas margens gengivais. A degradação da linha adesiva com NaOCl aumentou a microinfiltração tanto em esmalte como em dentina.

Amaral et al. (2004) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes técnicas de polimerização na microinfiltração e na formação de fendas marginais nas restaurações de Classe II (tipo “slot”) de resina composta em dentes bovinos. Os materiais restauradores utilizados foram a resina composta micro-híbrida Z-250 e o sistema adesivo Single Bond (ambos da 3M-ESPE, sendo que a resina foi inserida em três incrementos nas cavidades de 1,5mm de profundidade. As técnicas de polimerização empregadas foram duas diferentes metodologias de soft-start, uma de pulso-espera, arco de plasma, luz halógena de alta intensidade e luz halógena com intensidade de 560mW/cm² (grupo controle). As amostras foram termocicladas (1000 ciclos/ 5-55°C) e coradas com azul de metileno (2%) para a análise da microinfiltração e foram feitas réplicas com material de moldagem a base de poliéster para análise em microscopia eletrônica de varredura. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as técnicas de fotoativação testadas tanto na

microinfiltração como na formação de fendas marginais, sendo que a termociclagem promoveu maior formação de fendas em todos os grupos

Gallato et al. (2005) em um estudo *in vitro* em dentes bovinos avaliaram a microinfiltração em restaurações de amálgama armazenadas por 24 h, uma semana e 12 meses, utilizando diferentes materiais forradores. Realizaram cavidades de Classe V nas faces vestibulares de incisivos bovinos (2mm de profundidade X 4mm sentido inciso-gengival X 3mm sentido mesio-distal) com as margens gengivais estendidas apicalmente a 2mm da junção amelo-cementária. Concluíram que em longo prazo, o selamento das restaurações de amálgama utilizando ou não adesivo é similar e maior do que os resultados em curto prazo. O efeito de selamento em longo prazo pareceu estar mais relacionado aos produtos de corrosão do amálgama do que em relação ao tipo de liga e forrador utilizados

Svizero et al. (2005) avaliaram a microinfiltração de restaurações de Classe V de resina composta (1,5mm de profundidade X 3mm sentido mesio-distal X 4mm ocluso-gengival), preparadas em incisivos bovinos, utilizando diferentes forradores à base de ionômero de vidro e métodos de fotoativação. Os autores concluíram, com base na metodologia empregada, que as técnicas de fotoativação em rampa (100-800mW/cm² por 15 s + 800mW/cm² por 25 s) e de pulso-espera (200mW/cm² por 3 s + 3 min de espera + 600mW/cm² por 30 s) não melhoraram a qualidade marginal das restaurações quando comparados ao método convencional (450mW/cm² por 40 s). O uso de alta densidade de energia (1600mW/cm² por 3 s) pode comprometer a adaptação do material a cavidade e aumentar os valores de microinfiltração, independentemente ao uso de ionômero de vidro como forrador e finalmente, justificam a efetividade na diminuição da microinfiltração na combinação ionômero

de vidro + resina composta pela diminuição do volume de material resinoso, o que pode acarretar uma menor contração de polimerização.

Aranha et al. (2005) em seu estudo sobre a microinfiltração de restaurações de resina composta preparadas com laser de Er:YAG, empregando diferentes sistemas adesivos, verificaram que a utilização deste laser para preparos cavitários não foi diferente estatisticamente da técnica convencional (com brocas). Foram utilizados dentes bovinos em cujas faces vestibulares foram preparadas cavidades de (3mm sentido ocluso-gengival X 3mm sentido mesio-distal X 2mm de profundidade) e a metodologia para a avaliação do grau de microinfiltração utilizou termociclagem com 700 ciclos (5-55°C) e o corante de azul de metileno a 2% por 4 h. Além de concluírem que o laser apresentou resultados semelhantes aos da broca, verificaram também que o sistema adesivo Clearfil SE Bond (Kuraray) apresentou os menores valores de microinfiltração em relação aos demais adesivos testados (AdheSE – Vivadent e Single Bond - 3M-ESPE).

3 PROPOSIÇÃO

Avaliar a resistência flexural, a microinfiltração e o grau de conversão de uma resina composta micro-híbrida fotoativada por luz halógena e laser de argônio com diferentes tempos de exposição.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Materiais Restauradores

- Ácido Fosfórico 35% (3M- ESPE do Brasil)
- Resina Composta Z-250 (3M –ESPE do Brasil)
- Sistema Adesivo Adapter Single Bond 2 (3M –ESPE do Brasil)

4.1.2 Equipamentos

- Capela Normosil Adición putty fast – laboratórios Normon S. A Madri - Espanha
- Contra-ângulo Intra Matric 20CN (Alemanha)
- Espectrômetro FT-Raman RFS 100/S (Bruker), instalado no Laboratório de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de São Paulo.
- Estufa Selecta (Madri – Espanha)
- Fotopolimerizador Degulux (Degulux Sof-Star – Degussa Hüls).
- Máquina de corte para tecidos duros e metais Isomet 4000 – Buehler (Alemanha)

- Máquina de corte para tecidos duros Strues – Accutom – 50 (Copenhagen-Dinamarca)
- Máquina de Ensaio Mecânicos Modelo 4411 - Instron Corp., Canton, MA)
- Máquina Termocicladora (Laboratório de Pesquisa da Universidade de Granada-Espanha)
- Micromotor Intra Matric 181M (Alemanha)
- Microscópio óptico de luz convencional Olympus 20 X – Modelo SZ60 (Japan)
- Laser de Argônio Accucure 3000 – LaserMed
- Geladeira Radiber S.A. (Madri- Espanha)
- Paquímetro digital (Syevae Ultra-Call li)
- Radiômetro de cura analógica Demetron (modelo 100 – Demetron Research Corporation, Danbury, CT, USA) (Kerr, CT, EUA)

4.1.3 Materiais de consumo e Instrumentais

- Brocas Carbide # 330 Metalúrgica Fava (São Paulo - Brasil)
- Dentes incisivos bovinos
- Água destilada - produzida no laboratório de pesquisas da Faculdade de Odontologia da Universidade de Granada
- Adesivo a base de cianoacrilato Super Bond (Loctite)
- Cera utilidade GENbag (Mahwah – USA)
- Discos abrasivos de óxido de alumínio Sof-Lex (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA)

- Disco de diamante Al₂O₃ Cut-Off Wheel Size 25mm dia X 0,5mm X 12,7 dia (Struers A/S – Dinamarca)
- Esmalte de unha L’Oreal- Perfection Jet-set (cor chocolate) (Madri – Espanha).
- Espátula de inserção de resina SSWhite – Duflex – Rio de Janeiro – RJ - Brasil
- Fucsina básica 0,5% - produzida no laboratório de pesquisas da Faculdade de Odontologia da Universidade de Granada
- IRM – material restaurador temporário a base de óxido de zinco e eugenol(Konstanz - Alemanha)
- Lâminas de vidro 0,14mm de espessura
- Lixas de papel de granulações 500, 800, 1000, 1200, 2500 e 4000 WS-Flex 18B Waterproof Abrasive paper
- Luvas descartáveis Sempreecare- Powder - Free
- Matriz de poliéster Metalúrgica Fava (São Paulo – Brasil)
- Matriz retangular metálica para confecção das amostras de resistência flexural (25 x 2 x 2mm)
- Placas de Petri Soria Genlab, S.A – Valdemoro – Madri – Espanha.
- Recipientes de plástico envoltos com papel alumínio para armazenamento das amostras para o teste de resistência flexural
- Resina epóxica – INPLEX (Itália)

4.2 Métodos

4.2.1 Etapa 1: Teste de resistência flexural

Preparo das amostras:

Para o desenvolvimento da parte experimental deste trabalho foi preparado um total de 15 espécimes de resina composta micro-híbrida Z-250 (3M-ESPE). O material era inserido em uma matriz retangular (25 x 2 x 2mm). Essa matriz ficava apoiada sobre uma placa de vidro e era coberta em ambos os lados com uma matriz de poliacetato de vinila (PVAC). Sobre a matriz de PVAC, uma lâmina de vidro de 0,14mm de espessura, era pressionada para permitir a obtenção de uma superfície lisa e regular. Para se efetuar a fotoativação das amostras, esta lâmina era removida e a ponta do aparelho fotoativador ficava em contato com a matriz de acetato (ARCÍS et al., 2002; PEREIRA et al., 2005).

As amostras foram divididas em três grupos ($n=5$), de acordo com o sistema fotoativador empregado, conforme descrito abaixo:

Grupo 1 – Polimerização com luz halógena (Degulux Sof-Star – Degussa Hüls) por 20 segundos ($500\text{mW}/\text{cm}^2$) (H20).

Grupo 2 – Polimerização com laser de Argônio (Accucure 3000 – Lasermed) por 10 segundos (250mW) (L10).

Grupo 3 – Polimerização com laser de Argônio (Accucure 3000 – Lasermed) por 20 segundos (250mW) (L20).

A intensidade da radiação da fonte de luz halógena era aferida com o radiômetro e a potência do laser, calibrada com o medidor inserido no próprio laser.

O estudo da resistência flexural deste trabalho segue a Norma ISO 4049. Esta normativa determina 80 MPa como valor mínimo de resistência flexural para as resinas compostas diretas fotoativadas e estabelece os seguintes parâmetros:

- Se quatro das cinco amostras apresentar valores maiores ou iguais ao valor mínimo, se considera que o material cumpre seus requisitos;
- Se três ou mais dos resultados são inferiores aos 80MPa, se considera que o material falhou completamente;
- Caso somente três dos resultados sejam maiores ou iguais ao limite determinado, deve-se repetir o ensaio completo. Se na repetição, quatro ou menos resultados são iguais ou maiores que o valor de 80MPa, considera-se também que houve falha do material.

A metodologia descrita na Norma ISO 4049, empregada para a realização do ensaio prevê a utilização de uma matriz metálica, apoiada sobre uma lâmina de vidro, para a dos espécimes com as dimensões de 25mm de comprimento, 2 mm de altura e 2mm de largura (Figura 4.1A), a qual já foi descrita anteriormente.

Para o preparo da amostra, conforme essa Norma, iniciou-se a polimerização da resina composta na porção central durante o tempo de exposição indicado pelo fabricante e em seguida, movimentou-se a ponta de saída da fonte de luz para um dos lados da amostra de forma que essa segunda posição se sobrepusse à

metade do diâmetro da exposição anterior, e assim por diante, até completar a fotoativação desta metade da amostra. Em seguida, posicionou-se a ponta do aparelho fotoativador na posição central, onde se iniciou o processo de fotoativação, e se iniciou outra seqüência de exposições em direção ao outro lado da amostra, da mesma forma como explicado anteriormente até completar a fotoativação em toda extensão da amostra. Uma vez fotoativada toda a superfície, repetiu-se o mesmo procedimento do lado oposto, ainda não irradiado, retirando-se em seguida a amostra do molde.

Após a remoção das amostras dos moldes, estas eram polidas manualmente com lixas de papel respeitando a seqüência de granulações 500, 800, 1000, 1200, 2500 e 4000 em água destilada, para remoção de rebarbas ou de possíveis bolhas (ARCÍS et al., 2002). Como a altura e a largura dos espécimes com a matriz utilizada era de 2,5mm, outra importante razão da etapa do polimento, dizia respeito à obtenção das amostras na dimensão de aproximadamente 2,0mm. Portanto, terminado o polimento, os espécimes eram medidos com paquímetro digital (Sylvae Ultra-Call II) para registrar as dimensões finais das amostras, e a partir de então, calcular os valores de resistência flexural.

Os espécimes eram armazenados em água destilada, em recipiente escuro, em estufa a 37°C por 24 h e após esse período, eram submetidos ao ensaio de resistência flexural (Máquina de Ensaio Mecânicos - Modelo 4411 - Instron – Figura 2) após remover o excesso de água a uma velocidade constante de 1,0mm/min.

O valor de resistência flexural foi obtido a partir da carga no momento de fratura e calculado através do registro obtido da curva de carga-deflexão.

A equação matemática para calcular a resistência flexural é a seguinte:

$$\sigma = \frac{3 Pl}{2bh^2}$$

Onde:

σ = resistência flexural

P = a carga máxima, em Newtons, no momento da fratura

l = a distância, em milímetros, entre os suportes

b = a largura, em milímetros, da amostra medida imediatamente antes do ensaio

h = a altura, em milímetros, da amostra medida imediatamente antes do ensaio.

A - matriz metálica

B – aplicação da resina composta

C – fotoativação da resina

D – Abertura da matriz para retirada da amostra

Figuras 4.1A a D – Sequência de confecção das amostras para o ensaio de resistência flexural

A – vista geral do aparelho

B – vista aproximada do suporte para a realização do teste com três apoios

Figuras 4.2 A e B - Máquina de ensaios mecânicos – Instron (Modelo 4411)

4.2.2 Etapa 2- Análise da microinfiltração

4.2.2.1 *Preparo das amostras*

Para o estudo da microinfiltração foram utilizados 60 dentes incisivos bovinos, sendo que cada grupo era composto por 20 dentes. Os dentes foram previamente selecionados para que não houvesse nenhuma trinca ou linha de fratura e limpos com uma cureta para remoção de possíveis debris. Em cada superfície vestibular dos dentes era demarcada a lápis, com o auxílio de uma matriz de acetato, quadrado de 4mm no sentido inciso-gengival, 3mm no sentido mesio-distal. A cavidade era preparada, após a delimitação. A profundidade de 2mm era verificada com o auxílio de uma sonda periodontal milimetrada. A margem gengival do preparo

estendia-se 2mm para apical, abaixo da junção amelo-cementária, na dentina radicular (GALLATO et al., 2005). Os procedimentos eram realizados com brocas Carbide #330, em alta-rotação e refrigeração com spray de ar-água. As brocas eram substituídas a cada cinco preparos (TOLEDANO et al., 2000).

4.2.2.2 Procedimento restaurador

O sistema adesivo (Adapter Single Bond 2-3M-ESPE) era aplicado seguindo as instruções do fabricante. A cavidade era condicionada com ácido fosfórico a 35% por 15 segundos, iniciando a aplicação do ácido pelo esmalte estendendo-se para a dentina. Após esse primeiro passo, a cavidade era lavada e seca com bolinha de algodão, tomando o cuidado de deixar a superfície úmida, sem que houvesse desidratação da dentina (Kanka III, 1992). O adesivo era aplicado em duas finas camadas consecutivas por 15 segundos. Em seguida, a superfície era seca para permitir a evaporação do solvente e fotoativada por 10 segundos com luz halógena. As cavidades eram preenchidas com a resina composta em dois incrementos de aproximadamente 1mm e fotoativada de acordo com os grupos descritos na etapa anterior.

A -Ácido fosfórico 35% (3M-ESPE), Sistema adesivo Single Bond (3M-ESPE) e resina Filtek Z-250 (3M-ESPE)

B -Adesivo a base de cianoacrilato (Locite) e cimento provisório IRM

Figura 4.3 A e B- Materiais utilizados no preparo das amostras para microinfiltração

O acabamento e polimento das restaurações eram realizados com discos de sof-lex (3M-ESPE) e os dentes armazenados em água destilada, em estufa a 37°C por 24 h.

4.2.2.3 Avaliação o grau de micro-infiltração

As amostras foram submetidas ao processo de termociclagem (500 ciclos). Cada ciclo consistia em banhos de 30 segundos cada, sendo as temperaturas dos banhos frio e quente respectivamente de 6°C a 60°C.

Após a termociclagem, os ápices dos dentes eram selados com IRM e adesivo a base de cianoacrilato para prevenir a infiltração do corante via ápice. Os dentes eram então impermeabilizados com duas camadas de esmalte de unha, exceto a 1mm em torno das margens das restaurações. As coroas eram fixadas com cera utilidade, de modo que a porção radicular não ficasse envolvida pela solução de

corante e eram imersas em fucsina básica a 0,5% por 24 h, em estufa a 37°C (Figuras 4.4A a 4.4C). Após este intervalo de tempo, os dentes eram enxaguados por 5 minutos em água destilada, secos e incluídos em resina epóxica para serem posteriormente seccionados longitudinalmente no sentido vestibulo-lingual com disco de diamante em baixa velocidade. Como resultado, obtinham-se três cortes de aproximadamente 1,0mm de cada dente (REIS et al., 2004; GALLATO et al., 2005). Estes cortes permitiram verificar a penetração do corante ao longo da interface dente/ restauração (OSORIO et al., 2004).

A
Dente bovino após selamento do ápice

B
Dente impermeabilizado com esmalte de unha

C
Dentes fixados com cera pegajosa e imersos em solução de fucsina básica a 0,5%

Figuras 4.4 A, B e C - Seqüência de preparo das amostras para coloração em fucsina básica 0,5%

Os cortes eram analisados em um microscópio óptico e avaliados de acordo com os seguintes escores:

- 0- sem penetração de corante
- 1- penetração de corante até metade das paredes oclusal ou gengival
- 2- penetração de corante ao longo das paredes oclusal ou gengival
- 3 - penetração de corante ao longo da parede axial

O maior valor, ou seja, com maior grau de infiltração de cada margem foi registrado e nos casos onde havia dúvidas quanto à atribuição dos escores, estabeleceu-se um consenso entre outros observadores igualmente calibrados.

4.2.3 Etapa 3 - Análise do grau de conversão

4.2.3.1 *Preparo das amostras*

O preparo das amostras para a determinação do grau de conversão foi realizado da mesma forma como descrito na Etapa 1.

Para a avaliação do grau de conversão da resina composta, foi utilizada uma amostra por grupo, com três análises em cada espécime: uma em cada extremidade e uma na região central.

Os espécimes ficaram armazenados por 24 h em estufa a 37°C em recipientes à prova de luz. Após esse período, foram levados ao Espectrômetro FT-Raman RFS 100/S (Bruker) (Figura 4.5), instalado no Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, para obtenção e interpretação dos gráficos, elaborada com a colaboração do Prof. Dr. Yoshio Kawano do Departamento de Química Fundamental deste Instituto.

O funcionamento do aparelho se dá a partir da estimulação das moléculas do material por um feixe de luz laser (Nd:YAG – 1064nm). Os grupos funcionais ativos, presentes nas amostras, uma vez excitados, emitem frequências específicas que

estão relacionadas com seu modo de vibração. O espectro espalhado é captado por um detector sensível, os dados são armazenados em um computador e em seguida, levados a um “software” para análise das curvas espectrais (SANTOS, 2003).

As amostras eram posicionadas no aparelho, de modo que a incidência do laser fosse perpendicular à região a ser analisada, como indica o esquema a seguir:

O mesmo procedimento também foi realizado em uma amostra do compósito não polimerizado. Isto serviu como base de cálculo, a fim de que fosse possível quantificar o grau de conversão, a partir do seguinte modelo matemático (CORRÊA, 2003):

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

Onde:

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

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

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

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

4.5 A – Vista panorâmica do aparelho

4.5 B – Vista aproximada. A seta vermelha indica onde a amostra é posicionada

Figura 4.5A e B - Espectrômetro FT-Raman RFS 100/S (Bruker)

Os espectros Raman foram obtidos na região de $2000-1000\text{ cm}^{-1}$, nas seguintes condições: abertura de fenda de 7mm, número de co-adições: 128, resolução de 4 cm^{-1} e potência do laser de Nd:YAG de 100mW.

4.2.4 Análise estatística

Todos os dados foram organizados em tabelas, e para a análise de cada etapa do trabalho foram utilizados diferentes métodos estatísticos. Foi utilizado o programa estatístico BioEstat 4.0.

5 RESULTADOS

A seguir, os resultados são apresentados separadamente, de acordo com as variáveis estudadas:

5.1 Resistência Flexural

Para a análise da resistência flexural da resina composta Z-250 fotoativada pela luz halógena e laser de argônio em diferentes tempos, foi realizado o teste de análise de variância, com o qual verificou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes fotoativadoras estudadas ($p>0,05$). Os valores de resistência flexural em MPa estão apresentados na Tabela 5.1 e as médias destes resultados estão apresentadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.1 - Valores originais de resistência flexural (MPa) para a resina composta fotoativada pela luz halógena e laser de argônio (n=5)

Resistência Flexural (MPa)		
<i>G1 Luz Halogena (20 s)</i>	<i>G2 laser de argônio (10 s)</i>	<i>G3 laser de argônio (20 s)</i>
115,01	126,53	123,60
151,16	88,83	141,30
128,97	131,04	163,87
122,81	153,78	140,67
162,90	119,29	114,38

As médias dos valores de resistência flexural registrados estão apresentadas na Tabela 5.2 e ilustradas no Gráfico 5.1.

Tabela 5.2 - Média dos valores de resistência flexural (MPa)

Resistência Flexural (MPa)		
<i>G1 Luz Halogena (20 seg)</i>	<i>G2 laser de argônio (10 s)</i>	<i>G3 laser de argônio (20 s)</i>
136 ± 20	124 ± 23	137 ± 19

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	(p)	
Entre fontes	2	527.739	263.869	0.6015	0.5678	n.s*
Resíduo	12	52.6	438.705			

*n.s – não significativo (p> 0,05)

Quadro 5.1 - Análise de variância entre os grupos das diferentes fontes para avaliação da resistência flexural

Gráfico 5.1 - Média dos valores de resistência flexural da resina composta fotoativada com as diferentes fontes fotoativadoras

5.2 Microinfiltração

A distribuição dos escores obtidos na avaliação da microinfiltração está apresentada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Frequência das ocorrências dos escores de microinfiltração de cada grupo experimental ($n=20$)

	G1 <i>Luz Halógena (20 s)</i>				G2 <i>laser de argônio (10 s)</i>				G3 <i>laser de argônio (20 s)</i>			
Escores	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Margem Oclusal	16	4	0	0	15	3	2	0	16	1	2	1
Margem Gingival	3	7	4	6	5	5	3	7	6	7	5	2

A microinfiltração das margens oclusais (em esmalte) e gengivais (em dentina) dos três grupos foram comparadas separadamente por meio do teste de Mann-Whitney (Tabela 5.4). Houve diferença estatisticamente significativa ao nível

de 5% entre esmalte e dentina, sendo que em todos os grupos a microinfiltração em dentina foi maior que em esmalte (Gráfico 5.1).

Tabela 5.4 - Valores obtidos no teste de Mann-Whitney na comparação do grau de microinfiltração entre esmalte e dentina para as fontes estudadas

	G1 Luz Halógena (20 s)	G2 laser de argônio (10 s)	G3 laser de argônio (20 s)
U	50	83	107,50
Z(U)	4,05	3,16	2,50
P	<0,05	<0,05	<0,05

Gráfico 5.2- Comparação entre as margens oclusais e gengivais nos diferentes grupos estudados

O teste não-paramétrico Kruskal-Wallis foi utilizado separadamente nas comparações múltiplas entre as diferentes fontes para as análises do grau de microinfiltração em esmalte e dentina. Não houve diferença estatisticamente significativa em ambas as comparações, sendo o valor de $H = 0,1283$ nas comparações múltiplas em esmalte e de $H = 2,3083$ nas comparações em dentina.

A

G1- Escore 0 em esmalte
e 1 em dentina

B

G1- Escore 1 em esmalte
e 2 em dentina

C

G2- Escore 1 em esmalte
e 1 em dentina

D

G2- Escore 0 em esmalte
e 1 em dentina

Figuras 5A a 5F- Fotografias de algumas amostras apresentando diferentes graus de infiltração

5.3 Grau de conversão

Para a análise do grau de conversão, os dados, transformados em porcentagem, foram organizados em uma tabela (Tabela 5.6) e foi realizada a análise de variância (ANOVA) entre os grupos (Quadro 5.2). Não houve diferença estatisticamente significativa entre as fontes. O gráfico 5.3 ilustra a comparação entre os três grupos estudados.

Tabela 5.5 - Valores dos graus de conversão, em porcentagem, dos três grupos de estudo de acordo com a localização na amostra

Grau de conversão (%)			
Localização da leitura	<i>Grupo 1</i> <i>Luz Halógena</i> <i>(20 s)</i>	<i>G2</i> <i>laser de argônio</i> <i>(10 s)</i>	<i>G3</i> <i>laser de argônio</i> <i>(20 s)</i>
Lado esquerdo	69	47	51
Centro	71	53	52
Lado direito	48	50	45

Tabela 5.6 - Média dos valores dos graus de conversão em porcentagem

Média dos valores de grau de conversão (%)		
<i>Grupo 1</i> <i>Luz Halógena</i> <i>(20 s)</i>	<i>G2</i> <i>laser de argônio</i> <i>(10 s)</i>	<i>G3</i> <i>laser de argônio</i> <i>(20 s)</i>
63	50	49

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F	(p)	
Entre fontes	2	338.667	169.333	2.7361	0.1428	n.s*
Resíduo	6	371.333	61.889			

*n.s – não significante ($p > 0,05$)

Quadro 5.2 - Análise de variância das três fontes estudadas

Gráfico 5.3 - Média do grau de conversão da resina composta fotoativada pelas fontes fotoativadoras estudadas

6 DISCUSSÃO

O atual apelo estético dos pacientes tem contribuído para o desenvolvimento constante de pesquisas relacionadas à resina composta e assuntos correlatos na busca pelo aprimoramento das técnicas restauradoras diretas.

A partir do seu surgimento a resina composta vem passando por sucessivas alterações na composição com o objetivo de conferir características anteriormente ausentes. No entanto, apesar dessas mudanças, sua estrutura básica tem permanecido inalterada nos últimos 30 anos, tendo como principais componentes: matriz polimérica de BIS-GMA ou TEGMA, partículas de carga de vidro, quartzo ou cerâmica e o agente de silanização, que une as partículas inorgânicas à matriz orgânica (PHILLIPS, 1998).

Além da busca por melhores resultados no que se refere à composição das resinas, outro aspecto que tem sido foco de atenção dos pesquisadores é a técnica de fotoativação destes materiais. A evolução tecnológica das unidades fotoativadoras possibilita a escolha de fontes com espectros de luz, intensidades e modos de emissão variados (CORRÊA, 2003). A indústria odontológica tem optado por produzir unidades fotoativadoras de alta intensidade luminosa visando otimizar o tempo clínico e proporcionar um alto grau de conversão em profundidade (UNTERBRINK; MUESSNER, 1995). O desempenho da fonte ativadora é a variável mais importante na determinação do grau de conversão, profundidade de polimerização e em última análise, o sucesso clínico das restaurações (COBB; VARGAS; RUNDLE, 1996).

Inicialmente, o sistema de fotoativação utilizava a luz ultravioleta que foi substituída pela luz halógena, em função das várias desvantagens da primeira, como a capacidade de lesar tecidos moles não pigmentados, baixa intensidade de luz e baixo poder de penetração (PHILLIPS, 1998). Atualmente, existem no mercado algumas opções de fontes fotoativadoras, como os aparelhos do tipo LED (diodo emissor de luz), arco de plasma e laser de argônio (LOHBAUER et al., 2005), todas desenvolvidas com a intenção de melhorar as propriedades físicas das restaurações de resina composta.

No entanto, não adianta somente melhorar a qualidade da fotoativação e da polimerização do material, pois existe um conjunto de ocorrências inter-relacionadas que determinará o sucesso ou o fracasso de uma restauração de resina composta. Portanto, além do desenvolvimento de novos aparelhos têm sido sugeridas técnicas alternativas de fotoativação com a intenção de minimizar efeitos indesejáveis como o da contração de polimerização (AGUIAR; AJUDARTE; LOVADINO, 2002; AMARAL et al., 2004; BARROS et al., 2003; CAVALCANTE et al., 2003; HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002; JEDRYCHOWSKI; BLEIER; CAPUTO, 1998; KUBO et al., 2004; MEHL; HICKEL; KUNZELMANN, 1997; MUANGMINGSUK; SENAWONGSE; YUDHASARAPRASITHI, 2003; SVIZERO et al., 2005).

Uma polimerização adequada é importante para se obter uma ótima performance clínica dos materiais restauradores estéticos. Por outro lado, uma polimerização inadequada acarreta problemas quanto às propriedades físicas do material como resistência à compressão, dureza, resistência à tração diametral e resistência flexural. Outros problemas associados a uma polimerização incompleta da resina incluem a diminuição da resistência ao desgaste, aumento da solubilidade

no meio bucal, microinfiltração, desenvolvimento de cáries secundárias e finalmente comprometimento pulpar (COBB; VARGAS; RUNDLE, 1996).

É sabido que a canforquinona apresenta a sua banda de absorção à luz de comprimento de onda entre 468nm a 492nm (KELSEY et al., 1989); com isso, muitos pesquisadores estudam a possibilidade de o laser de argônio, cujo comprimento de onda está na faixa de 488nm, ser um possível substituto à fonte de luz halógena, buscando vantagens na qualidade final do material restaurador. De acordo com KELSEY et al. (1989), devido às peculiares características da luz laser, ou seja, monocromaticidade, colimação intensidade e coerência, acredita-se na possibilidade de uma otimização do uso do feixe de luz incidente na polimerização, sem grandes perdas de energia, promovendo vantagem quanto à redução de tempo de polimerização e o aprimoramento das propriedades físicas dos compósitos como, aumento da resistência compressiva, aumento da resistência diametral e aumento da resistência flexural.

Segundo Musanje e Darvell (2003) a intensidade da irradiação incidente com o apropriado comprimento de onda e o tempo de irradiação são cruciais na determinação do grau de polimerização e no desenvolvimento das propriedades mecânicas das resinas compostas.

O estudo das propriedades físicas dos materiais restauradores oferece um indicativo de como o material irá se comportar quando submetido aos esforços mastigatórios e às condições do meio bucal. A resistência flexural é a propriedade física que avalia a resistência do material submetido a uma força de deflexão (distorção). No teste de resistência flexural aplica-se uma carga na região central de uma barra apoiada em ambas as extremidades, onde se tem uma força de compressão na porção superior (onde a carga foi aplicada), uma força de tração

exercida na parte inferior, e uma força de cisalhamento perto das extremidades apoiadas do espécime. É de certo modo uma mensuração coletiva de tensões de compressão, tração e cisalhamento (ANUSAVICE, 2005), podendo com isso, exprimir o comportamento das forças mastigatórias sobre as restaurações diretas, (ANUSAVICE, 2005; BAYNE; HEYMANN; SWIFT, 1994).

Segundo Yap e Teoh (2003), o teste de resistência flexural tem se mostrado mais sensível às pequenas mudanças de composição dos materiais do que o teste de compressão. Além de ser a propriedade mecânica eleita pela ISO (2000) para a apresentação do perfil de um material restaurador resinoso, tem sido amplamente utilizado nas pesquisas científicas de avaliação dos materiais odontológicos, o que facilita a comparação entre diferentes trabalhos.

Yap (2000) ainda salienta o fato de que como a matriz para confecção das amostras apresenta 2mm de altura, isso possibilita uma efetividade da polimerização em profundidade, além de garantir o alcance máximo de polimerização tanto no topo como na superfície oposta.

A grande maioria dos estudiosos do *laser de argônio*, tais como Blankenau et al. (1991); Powell et al. (1995) são unânimes em afirmar que o laser de argônio é capaz de conferir melhores propriedades aos materiais polimerizados. Segundo FLEMING E MAILLET (1999) e VERHEYEN (2001), outra característica que pode ser melhorada na técnica de polimerização com o laser de argônio é, o aumento do grau de conversão da resina. Alguns autores ainda mostram algumas desvantagens do laser de argônio com relação ao alto custo do equipamento e a grande necessidade de refrigeração do aparelho (HAMMESFAHR; O'CONNOR; WANG, 2002). Lloret (2002), Rode (2002), Santos (2002), Turbino (2004) em seus estudos também não comprovaram a eficácia do laser de argônio para fotoativação de

resinas compostas, sendo que na avaliação de determinados parâmetros, a luz halógena ainda apresentava melhores resultados com relação às propriedades mecânicas. Alves (2002) e Matson (2003) não verificaram em suas pesquisas, diferença entre as duas fontes estudadas.

A intensidade da irradiação incidente com o apropriado comprimento de onda e o tempo de irradiação são cruciais na determinação do grau de polimerização e no desenvolvimento das propriedades mecânicas das resinas compostas (MUSANJE; DARVELL, 2003).

Neste trabalho, utilizamos o teste de resistência flexural para avaliar o comportamento da resina composta micro-híbrida Z-250 frente a diferentes fontes de polimerização e verificamos que o laser de argônio não apresentou diferença estatisticamente significativa à polimerização com a luz halógena.

Nossos resultados estão de acordo com os resultados obtidos por Aw e Nicholls (1997) e Cobb, Vargas e Rundle (1996), que também verificaram não haver diferença estatisticamente significativa entre a resistência flexural da resina fotoativada pelo laser de argônio e pela luz halógena.

Como mencionado anteriormente, para a realização do experimento de resistência flexural seguiu-se a metodologia proposta pela Norma ISO 4049, por ser uma Norma padronizada e amplamente difundida. Conforme detalhado no capítulo de Materiais e Métodos, essa metodologia preconiza a fotoativação seqüencial em cinco aplicações em ambas superfícies, sobrepondo uma exposição à outra.

A análise dos resultados obtidos pode apresentar diferentes hipóteses: 1- Realmente não haver diferença estatisticamente significativa entre o laser de argônio e a luz halógena; neste caso o laser de argônio pode ser considerado uma possível alternativa como fonte fotopolimerizadora. 2- A irradiação aplicada provavelmente

excedeu a quantidade de energia necessária para a fotoativação da amostra. Portanto, um dos motivos por não se ter obtido diferença entre as fontes pode estar relacionado à energia total aplicada, ou seja, talvez, mesmo aplicando uma energia inferior à preconizada pelo fabricante para fotoativar a amostra, como a aplicação ocorreu várias vezes de forma consecutiva, pode se ter alcançado a quantidade de energia mínima necessária para a fotoativação da amostra, mesmo nos grupos com densidade de energia menor. 3- A última hipótese para justificar o resultado, seria a de que a resistência flexural seja uma variável relacionada à composição do material e não a fonte de ativação, desde que o material seja satisfatoriamente polimerizado. Talvez ao comparar diferentes tipos de resina composta obtenham-se diferentes valores de resistência flexural, como observaram alguns autores (ARCÍS et al., 2002; MUSANJE; DARVELL, 2003; RUIZ et al., 2003; UNTERBRINK; MUESSNER, 1995).

A cinética da polimerização tem se mostrado bastante complexa, sem haver uma relação de reciprocidade direta entre valores de potência e tempo de exposição (LOVELL; NEWMAN; BOWMAN, 1999). Peutzfeldt e Asmussen (2005) afirmam que longos períodos de exposição com uma potência baixa pode resultar em maior grau de polimerização do que quando comparado a curta duração do tempo de exposição com uma alta potência.

De acordo com Peutzfeldt e Asmussen (2005), diferentes combinações entre valores de potência e tempos de exposição exerceram uma influência significativa nos resultados de resistência flexural, onde encontraram que para cada densidade de energia estudada o valor máximo de resistência flexural era obtido em associação a valores intermediários de densidade de potência. Como neste trabalho não houve muita variação nos valores de potência aplicadas, talvez a diferença entre

os dois valores não tenha sido o suficiente para resultar em uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

Segundo Siderou; Tserki e Papanastasiou (2003), as propriedades mecânicas das resinas compostas são altamente influenciadas pela quantidade de ligações cruzadas provenientes do processo de polimerização. Lowell et al. (2003) também afirmam que o grau de polimerização diminui quando ocorre simultaneamente o aumento do valor da potência e a diminuição do tempo de exposição, e que o comprimento das cadeias poliméricas também diminui, mas sua frequência aumenta. Segundo estes autores, o comprimento das cadeias poliméricas está diretamente relacionada ao aumento das propriedades mecânicas e em contrapartida, a quantidade destas cadeias é inversamente proporcional.

Apesar de neste trabalho não termos obtido diferença entre os grupos tanto na análise de grau de conversão como na resistência flexural, Asmussen e Peutzfeldt (2001, 2003) afirmam que diferentes técnicas de polimerização podem resultar em um grau de polimerização semelhante, mas com uma estrutura molecular diferente com respeito à densidade das ligações cruzadas e com propriedades mecânicas diferentes.

Um método indireto utilizado para avaliar a qualidade de polimerização e profundidade de polimerização é o teste de microdureza devido à sua direta correlação com o grau de conversão dos monômeros (FERRACANE; GREENER, 1986).

Alguns estudos anteriores em que se estudou a polimerização do laser de argônio quanto à profundidade de polimerização apresentaram resultados semelhantes aos da luz halógena apenas no primeiro milímetro de profundidade, sendo que em profundidades maiores (2, 3 e 4mm) o laser não conferiu maior

microdureza à resina (RODE; LLORET; TURBINO, 2005; TURBINO, 2004). Da mesma forma, Santos (2002) ao avaliar a extensão da polimerização superficial de duas resinas compostas obteve os melhores valores de dureza com a fonte de luz halógena, ainda que neste estudo os parâmetros de densidade de energia aplicados tenham sido diferentes.

Daí a importância em se estudar novas variáveis para avaliação da polimerização de uma resina composta, utilizando diferentes parâmetros de fotoativação para o laser de argônio.

Na segunda etapa do estudo, avaliou-se o grau de microinfiltração das restaurações de classe V preparadas em dentes incisivos bovinos.

A indicação para o uso de fontes de luz, com valores de potência cada vez maiores, geralmente está baseada no fato de se buscar a melhoria das propriedades mecânicas, associado ao aumento do grau de conversão (RUEGGEBERG; CAUGHMANN; CURTIS, 1994). Entretanto, esta indicação pode comprometer de forma negativa a integridade marginal das restaurações, uma vez que ao aumentar a intensidade de luz incidida, pode-se promover um aumento na velocidade de reação de polimerização. Isto pode acarretar em última análise o comprometimento da integridade marginal, pois a reação rápida aumenta o estresse associado à contração de polimerização (BARROS et al., 2003; BOUSCHLICHER; VARGAS; BOYER, 1997; CAVALCANTE et al., 2003; SILIKAS; ELIADES; WATTS, 2000; MUANGMINGSUK; SENAWONGSE; YUDHARAPRASITHI, 2003).

Durante o processo de polimerização, a contração de polimerização da resina composta gera esforços que pode romper a adesão nas paredes cavitárias (DAVIDSON; GEE; FEILZER, 1984; MEHL; HICKEL; KUNZELMANN, 1997). A força

adesiva deve ser maior que o estresse de contração para que se consiga uma adaptação marginal estável, sem microinfiltrações.

A opção para a utilização de dentes bovinos na avaliação da microinfiltração pode ser explicada pelo fato de haver a possibilidade de se padronizar o substrato, uma vez que os dentes bovinos foram obtidos todos no mesmo lugar, de animais de aproximadamente a mesma idade e origem. Além disso, estudos consideram o dente bovino como um possível substituto do dente humano em pesquisas laboratoriais (ARANHA et al., 2005; NAKAMICHI; IWAKU; FUSAYAMA, 1993).

A metodologia de preparo das cavidades foi baseada na técnica descrita por Gallato et al. (2005), na qual se padroniza a profundidade da dentina com preparos em 2mm. A técnica de aplicação do sistema adesivo seguiu a orientação do fabricante, mantendo a condição de relativa umidade da dentina, pois estudos mostram valores de resistência adesiva inferiores em substrato dentinário desidratado (KANKA III, 1992) e a inserção da resina composta foi realizada em 2 incrementos de 1mm a fim de garantir uma boa qualidade de polimerização da resina em profundidade.

O preparo das amostras para o teste de microinfiltração seguiu a metodologia preconizada por Toledano et al. (2000), na qual os autores descrevem a simulação de envelhecimento da restauração por meio termociclagem, composta por 500 ciclos em banhos de 30 segundos cada, sendo as temperaturas dos banhos frio e quente respectivamente de 6°C a 60°C. Na etapa de impermeabilização da estrutura dental, além do procedimento convencional de se aplicar o esmalte de unha em todo o dente respeitando o contorno de 1mm além da cavidade, e selamento do ápice com cimento provisório à base de óxido de zinco, teve-se o cuidado de impermeabilizar

este cimento aplicando-se uma camada de adesivo à base de cianoacrilato a fim de prevenir eventual penetração do corante via ápice, caso o dente que estava armazenado na estufa acidentalmente caísse e ficasse com o ápice mergulhado no corante.

A avaliação do grau de microinfiltração foi realizada por um avaliador e posteriormente confirmada por outro avaliador. Nos casos em que havia discordância na atribuição dos escores, um terceiro avaliador fazia o desempate. É importante ressaltar que os três avaliadores haviam sido previamente calibrados.

A resistência adesiva além de fatores como a configuração cavitária e intensidade e tempo de polimerização são fatores diretamente relacionados com a qualidade marginal das restaurações de resina composta (UNTERBRINK; MUESSNER, 1995). Portanto, como era de se esperar, com relação à comparação entre microinfiltração em esmalte (parede oclusal), e dentina (parede gengival) foi possível verificar que o grau de microinfiltração em esmalte é inferior ao da dentina.

Em virtude da composição química do esmalte, a efetividade adesiva na sua estrutura é maior que na dentina (NAKABAYASHI; PASHLEY, 2000). Isto se deve ao fato de que ambas as estruturas apresentam aspectos morfológicos distintos. O esmalte é um tecido duríssimo constituído por cerca de 96% de hidroxiapatita. A dentina tem em sua composição 70% de matéria inorgânica (principalmente cristais de hidroxiapatita), e o restante da composição é de matéria orgânica e água (MJÖR; FEJERSKOV, 1990). A adesão ao esmalte é puramente micromecânica, ou seja, quando o esmalte é condicionado com ácido, ele é transformado de uma superfície lisa e sólida para uma superfície rugosa e porosa, pela solubilização preferencial de cristais interprismáticos em vez de prismáticos, onde os monômeros resinosos penetram pelas microporosidades formando os *tags*,

que são os responsáveis pelo embricamento mecânico. Em dentina, ocorre um embricamento micromecânico como principal mecanismo de adesão que é a formação da camada híbrida, onde ocorre penetração e polimerização da resina entre a malha de colágeno exposta após o condicionamento ácido (NAKABAYASHI; PASHLEY, 2000).

Nos resultados de microinfiltração em dentina pôde-se verificar que não houve diferença estatisticamente significativa entre os diferentes parâmetros de fotoativação utilizados.

Este resultado está de acordo com diversos trabalhos que avaliaram o grau de microinfiltração de restaurações de resina composta fotoativadas por diferentes fontes ou métodos de fotoativação (AGUIAR; AJUDARTE; LOVADINO, 2002; AMARAL et al., 2004; AW; NICHOLLS, 1997; CAVALCANTE et al., 2003; KUBO et al., 2004; MUANGMINGSUKE; SENAWONGSE; YUHARAPRASITHI, 2003; SVIZERO et al., 2005).

Uma possível explicação para tais resultados seria o fato de que a inserção da resina em pequenos incrementos (1mm) minimizaria a contração de polimerização da resina composta devido a um menor volume de material (DAVIDSON; GEE; FEILZER, 1984; KUBO et al., 2004; MUANGMINGSUKE; SENAWONGSE; YUDHARAPRASITHI, 2003; SVIEZERO et al., 2005). Svizero et al., 2005 afirmam também que nos trabalhos científicos, além de minimizar o efeito de contração de polimerização, restaurações realizadas com pequenos incrementos de resina composta, se alteram menos com a termociclagem, provavelmente por apresentarem maior grau de polimerização.

Da mesma forma que a resistência adesiva, o formato da cavidade, a intensidade e o tempo de polimerização podem influenciar a qualidade marginal das

restaurações (UNTERBRINK; MUESSNER, 1995), a espessura de resina composta inserida na cavidade pode minimizar ou não o grau de microinfiltração (AGUIAR; AJUDARTE; LOVADINO, 2002).

Apesar de a técnica de fotoativação do tipo *soft-start* ser estudada por vários autores (AMARAL et al., 2004; BARROS et al., 2003; CAVALCANTE et al., 2003; KUBO et al., 2004; MUANGMINGSUK; SENAWONGSE; YUDHARAPRASITHI, 2003; SVIEZERO et al., 2005), neste trabalho foi utilizado o modo de fotoativação convencional, onde se aplica uma intensidade de radiação constante do início ao fim do procedimento de fotoativação.

O método de fotoativação *soft-star* citado, foi desenvolvido com o objetivo de se reduzir o estresse gerado durante a contração de polimerização. Entende-se que com essa técnica, a lenta taxa de conversão, induzida por pequenas doses iniciais de irradiação, prolongaria a fase de pré-gel da resina, permitindo uma melhor acomodação do material na cavidade e com isso permitindo a melhor dissipação das tensões. Contudo, alguns autores verificaram que o emprego desta técnica não evitou a ocorrência da microinfiltração (AMARAL et al., 2004; CAVALCANTE et al., 2003; KUBO et al., 2004; SVIEZERO et al., 2005).

Com relação à polimerização com laser de argônio, Fleming e Maillet (1999) advertem que apesar das supostas vantagens com relação ao aumento das propriedades físicas do material e redução do tempo de fotoativação, o *laser* pode aumentar o grau de microinfiltração e a contração de polimerização, provocados pela rápida polimerização, ao contrário do que Aw e Nicholls (1997) encontraram em seu estudo onde não se observou diferença na contração de polimerização entre os dois métodos. Por outro lado, Tarle et al. (1998) encontraram uma possível forma de se controlar essa contração utilizando o *laser* pulsado, e justificam que nesse tipo de

emissão ocorre o um intervalo que permite que haja resfriamento e relaxamento do material entre os pulsos.

Uma segunda explicação pode estar relacionada com a composição do material. Segundo Cavalcante et al. (2003), se a resina usada apresenta uma alta concentração de substância iniciadora, haverá pouca contração de polimerização no estágio pós-gel. Isto significa dizer que a polimerização ocorreria tão rapidamente na fase inicial (pré-gel) que a diferença entre os tempos estudados neste trabalho, não teria influência no grau de microinfiltração (MUANGMINGSUK; SENAWONGSE; YUDHARAPRASITHI, 2003).

Outra hipótese pode estar relacionada ao fato de que as diferenças entre os valores de energia estudadas talvez não tenham sido tão relevantes a ponto de produzirem algum efeito maior ou menor no grau de contração de polimerização e conseqüentemente, maior ou menor grau de microinfiltração (AMARAL et al., 2004).

Diferentes pesquisas estudam o tema da microinfiltração na busca por melhores resultados e longevidade das restaurações de resina composta, no entanto os autores são unânimes ao concluir que nenhuma técnica de inserção da resina ou de fotoativação tem sido capaz de impedir que ela ocorresse, principalmente nas paredes dentinárias. (MEHL; HICKEL; KULZELMANN, 1997; TOLEDANO et al., 2000; ROSALES-LEAL et al., 2001; AGUIAR; AJUDARTE; LOVADINO, 2002; AMARAL et al., 2004; BARROS et al., 2003; CAVALCANTE et al., 2003; SVIZERO et al., 2005)

Com relação ao grau de conversão da resina híbrida avaliada neste trabalho, pôde-se verificar que também não houve diferença entre os diferentes grupos de estudo.

A partir dos resultados de resistência flexural obtidos na primeira etapa do trabalho, estes resultados se justificam, uma vez que o preparo das amostras seguiu a metodologia de preparo para o teste de resistência flexural, onde também se verificou não haver diferença estatisticamente significativa. Portanto, a análise em espectroscopia Raman pôde ilustrar e confirmar que realmente não houve diferença na polimerização dos espécimes fotoativados com luz halógena e laser de argônio, dentro dos parâmetros estudados neste estudo.

Além disso, como a fotoativação ocorreu com a aplicação repetida de várias exposições à fonte ativadora, havendo provavelmente um excesso de quantidade total de energia, pode-se supor que, dentro das condições experimentais desta pesquisa, o grau de conversão obtido foi o grau máximo.

7 CONCLUSÕES

Com base na metodologia empregada e nos resultados obtidos neste trabalho, foi possível concluir que:

- A resistência flexural da resina composta estudada não foi influenciada pelas fontes fotoativadoras estudadas.
- A fotoativação com laser de argônio mostrou-se semelhante à luz halógena para as variáveis estudadas.
- Nenhuma fonte ativadora foi capaz de impedir a microinfiltração.
- O grau de conversão da resina composta fotoativada pela luz halógena e laser de argônio nos parâmetros estudados foi comparável.

REFERÊNCIAS¹

Aguiar FHB, Ajudarte KF, Lovadino JR. Effect of light curing modes and filling techniques on microleakage of posterior resin composite restorations. *Oper Dent* 2002;27:557-62.

Alves EB. Avaliação in vitro de microinfiltração em restaurações de classe V com resina composta polimerizada por laser de argônio ou luz halógena sob diferentes intensidades de luz (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2002.

Amaral CM, Peris AR, Ambrosano GMB, Pimenta LAF. Microleakage and gap formation of resin composite restorations polymerized with different techniques. *Am J Dent* 2004;17(3):156-60.

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

Aranha ACC, Turbino ML, Powell GL, Eduardo CP. Assessing microleakage of class V resin composite restoration. *Laser Surg Med* 2005;37:172-7.

Arcís RW, López-Macipe A, Toledano M, Osorio E, Rodríguez-Clemente R, Murtra J et al. Mechanical properties of visible light-cured resins reinforced with hydroxyapatite for dental restoration. *Dent Mater* 2002;18:49-57.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Clinical relevance of physical, chemical and bonding properties of composite resins. *Oper Dent* 1985;10(23):61-73.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. *J Dent Res* 2001;80(6):1570-3.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Two-step curing: influence on conversion and softening of a dental polymer. *Dent Mater* 2003;19:466-70.

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

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.

Barros GKP, Aguiar FHB, Santos AJS, Lovadino JR. Effect of different intensity light curing modes on microleakage of two resin composite restorations. *Oper Dent* 2003;28(5):642-6.

Bayne SC, Heymann HO, Swift Jr EJ. Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc* 1994;125(4-6):687-701.

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

Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB. Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. *Am J Dent* 1997;10(6):88-96.

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

Burgess JO, DeGoes M, Walker R, Ripps AH. An evaluation of four light-curing units comparing soft and hard curing. *Pract Periodont Aesthet Dent* 1999;11(1):125-32.

Cavalcante LMA, Peris AR, Amaral CM, Ambrosano GMB, Pimenta LAF. Influence of polymerization technique on microleakage and microhardness of resin composite restorations. *Oper Dent* 2003;28(2):200-6.

Choi KK, Ferracane JL, Ryu GJ, Choi SM, Lee MJ, Park SJ. Effects of cavity configuration on composite restoration. *Oper Dent* 2004;29(4):462-9.

Cobb DS, Vargas MA, Rundle T. Physical properties of composites cured with conventional light or argon laser. *Am J Dent* 1996;9(5):199-202.

Corrêa IC. Análise do grau de conversão de uma resina experimental fotopolimerizável: um estudo espectrométrico em função de diferentes fotoiniciadores e fontes de luz (Tese de Doutorado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2003.

Craig R, Powers JM, Wataha JC. Materiais dentários: propriedades e manipulação. Trad. por Cimara Fortes Ferreira. 11ª. ed. São Paulo: Ed. Santos; 2004.

Crispin BJ, Hewlett ER, Jo YH, Hobo S, Hornbrook DS. contemporary esthetic dentistry: practice and fundamentals. Osaka: Quintessence Books; 1994.

Danesh G, Lippold C, Mischke KL, Varzideh B, Reinhardt KJ, Dammaschke T, Schäfer E. Polymerization characteristics of light and auto-curing resins for individual splints. Dent Mater 2005;20:1-8.

Davidson CL, Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. J Dent Res 1984;65(2):146-8.

Davidson CL, Gee AJ, Feilzer A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. J Dent Res 1984;64(12):1396-9.

Dederich DH. Laser /tissue interaction: what happens to laser light when it strikes tissue? J Am Dent Assoc 1993;124(2):57-61.

Faria DLA, Souza MA. Raman spectra of human skin and nail excited in visible region. J Raman Spectrosc 1999;30:169-71.

Ferracane JL. Current trends in dental composites. Crit Rev Oral Biol Med 1995;6(4):302-18.

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.

Gallato A, Angnes G, Reis A, Loguercio AD. Long-term monitoring of microleakage of different amalgams with different liners. J Proth Dent 2005;93(6):561-76.

Ge J, Trujillo M, Stansbury J. Synthesis and photopolymerization of low shrinkage methacrylate monomers containing bulky substituent groups. Dent Mater 2005;20:1-7.

Hammesfahr PD, O'Connor MT, Wang X. Light-curing technology: past, present, and future. *Compend Contin Educ Dent* 2002;23(9):118-24.

International Standard Organization ISO 4049: 2000. Dentistry – Resin-based materials. ISO;2000.

Jedrychowski JR, Bleier RG, Caputo AA. Shrinkage stresses associated with incremental composite filling techniques. *ASDC J Dent Child* 1998;65(2):111-5.

Kanka III J. Resin bonding to wet substrate I- Bonding to dentin. *Quintessence Int* 1992;23:39-41.

Kelsey 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.

Kubo S, Yokota H, Yokota H, Hayashi Y. The effect of light-curing modes on the microleakage of cervical resin composite restorations. *J Dent* 2004;32:247-54.

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

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

Lloret PR. Resistência de união à dentina de resinas compostas polimerizadas com luz halógena e laser de argônio (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2002.

Lloret PR, Rode K M, Turbino M L, Eduardo CP. Comparison of the tensile bond strength of composite resin cured with an Argon Laser using two different distances of the handpiece. (resumo P19). *J Oral Laser Appl* 2001;1(suppl):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;21:608-15.

Lovell LG, Newman SM, Bowman CN. The effect of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res* 1999;78(8):1469-76.

Lovell LG, Newman SM, Donaldson MM, Bowman CN. The effect of light intensity on double bond conversion and flexural strength of a model, unfilled dental resin. *Dent Mater* 2003;19:458-65.

Matson AMFP. Avaliação da resistência flexural de resinas compostas ativadas por luz halógena e laser de argônio (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2003.

Mehl A, Hickel R, Kunzelmann. Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without „soft-start- polymerization“. *J Dent* 1997;25(3-4):321-30.

Mello JB, Mello GPS. Laser em odontologia. São Paulo: Ed. Santos; 2001. cap.1. p. 3-58.

Miserendino LJ, Pick RM. Lasers in dentistry. Carol stream: Quintessence Books; 1995.

Miyazaki M, Onose H, Lida N, Kazama H. Determination of residual double bonds in resin-dentin interface by Raman spectroscopy. *Dent Mater* 2003;19(3):245-51.

Mjor IA, Fejerskov O. Histologia e embriologia bucal. Tradução Lídia Sabbag Utrilla, Lizeti Toledo de Oliveira Ramalho, Renato de Toledo Leonardo. São Paulo: Medica Panamericana; 1990.

Muangmingsuk A, Senawongse P, Yudharaprasithi S. influence of different softstart polymerization techniques on marginal adaptation of class V restorations. *Am J Dent* 2003;16(2):117-9.

Musanje L, Darvell BW. Polymerization of resin composite restorative materials: exposure reciprocity. *Dent Mater* 2003;19:531-41.

Nakabayashi N, Pashley D. Hibridização dos tecidos dentais duros. Carol stream: Quintessence; 2000.

Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T. Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. *J Dent Res* 1983;62(10):1076-81.

Navarro RS. Resistência à tração de resina composta sobre esmalte e dentina condicionados com laser de Er:yag e um sistema adesivo auto-condicionante. Análise das superfícies pela microscopia eletrônica de varredura (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2001.

Osorio R, Toledano M, Osorio E, Aguilera FS, Tay FR. Effect of load cycling and *in vitro* degradation on resin-dentin bonds using a self-etching primer. Wiley InterScience 27/01/2004 (periódico on line) Disponível em: <http://www.interscience.wiley.com>. DOI:10.1002/jbm.a.30274.

Pereira SG, Osorio R, Toledano M, Nunes TG. Evaluation of two Bis-GMA analogues as potential monomer diluents to improve the mechanical properties of light-cured composite resins. Dent Mater 2005;21(9):823-30.

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

Phillips RW, Skinner. Materiais dentários. Tradução Júlio Jorge d'Albuquerque Lóssio. 10^a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1998. cap. 3, p.53-4, cap. 6, p.161-77.

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(5):675-81.

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

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

Powell GL, Ellis R, Blankenau RJ, Schouten. Evaluation of Argon Laser and convencional light cured composites (Resumo AADR n. 1744). J Dent Res 1995:74.

Reis LS, Chinelatti MA, Corona SAM, Palma-Dibb RG, Borsatto MC. Influence of air abrasion preparation on microleakage in glass ionomer cement restorations. J Mater Sci Mater Med 2004;15:1213-6.

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

Rode KM. Estudo da microdureza e profundidade de polimerização de resina composta com uso do laser de argônio (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2002.

Rode KM, Lloret PR, Turbino ML. Hardness evaluation of resin cured with argon laser and halogen lamp. *RPG* 2005;12(3):323-9.

Rosales-Leal JI, Osorio R, Holgado-Terriza JA, Cabrerizo-Vílchez MA, Toledano M. Dentin wetting by four adhesive systems. *Dent Mater* 2001;17:526-32.

Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis Jr JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 1994;19(1-3):26-32.

Ruiz JM, Ceballos L, Fuentes MV, Osorio R, Toledano M, García-Godoy F. Propiedades mecánicas de resinas compuestas modificadas o no con poliácidos. *Av Odontoestomatol* 2003;Espec:1-7.

Santos GB. 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 de polimerização superficial da resina composta por meio do teste de microdureza (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2002.

Santos SR. Aspectos relevantes na degradação das resinas compostas (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 1998.

Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater* 2000;16:292-6.

Svizero NR, D'Alpino PHP, Silva e Souza Jr MH, Carvalho RM. Liner and light exposure: effect on *in-vitro* class V microleakage. *Oper Dent* 2005;30(3):325-30.

Suzuki M, Kato H, Wakumoto S. Vibrational analysis by Raman Spectroscopy of the interface between dental adhesive resin and dentin. *J Dent Res* 1997;70(7):1092-7.

Tarle Z, Meninga A, Ristic M, Sutalo J, Pichler G, Davidson CL. The effect of the photopolymerization method on the quality of composite resin samples. *J Oral Rehabil* 1998;25(6):436-42.

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

Toledano M, Perdigão J, Osorio R, Osorio E. Effect of dentin deproteinization on microleakage of class V composite restorations. *Oper Dent* 2000;25:497-504.

Toledano M, Osorio R, de Leonardi G, Rosales-Leal JL, Ceballos L, Cabrerizo-Vilchez MA. Influence of self-etching primer on the resin adhesion to enamel and dentin. *Am J Dent* 2001;14(4):205-10.

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

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.

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

Van Meerbeek B, Mohrbacher H, Celis JP, Roos JR, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Chemical characterization of the resin-dentin interface by Micro-Raman spectroscopy. *J Dent Res* 1993;72(10):1423-8.

Verheyen P. Photopolymerization with the Argon Laser. *J Oral Laser Appl* 2001;1(1):49-54.

Watanabe F, Powers JM, Lorey RE. in vitro bonding of prosthodontic adhesives to dental alloys. *J Dent Res* 1998;67(2):479-83.

Yap AUJ. Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: impact of cavity depth and exposure time. *Oper Dent* 2000;25:113-20.

Yap AUJ, Teoh SH. Comparison of flexural properties of composite restoratives using the ISO and mini-flexural tests. *J Dent Rehab* 2003;30:171-7.

Yearn JA. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J* 1985;5(3):218-25.

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

Xu J, Butler IS, Gibson DFR, Stangel I. High-pressure infrared and FT-Raman investigation of a dental composite. *Biomaterials* 1997;18(24):1653-7.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Parâmetros de fotoativação usados em todas as etapas do trabalho

Os parâmetros de fotoativação usados nesta pesquisa estão apresentados na Tabela A e foram calculados a partir das seguintes fórmulas matemáticas:

$$dP = \frac{P \text{ (mW)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$E = P(W) \times t \text{ (s)}$$

$$dE = \frac{E \text{ (J)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$(A = \pi r^2) \left\{ \begin{array}{l} \text{Para o laser de argônio laser: } \blacktriangleright A = 3,1416 \times (0,3)^2 = 0,28 \text{ cm}^2 \\ \text{Para a luz halógena: } \blacktriangleright A = 3,1416 \times (0,4)^2 = 0,5 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

Tabela Ap. 1- Parâmetros de fotoativação usados

	<i>P (mW)</i>	<i>dP (mW/cm²)</i>	<i>E (J)</i>	<i>dE (J/cm²) por aplicação</i>
G1 (H20 sec)	250	500	5	10
G2 (L10 sec)	250	892,85	2,5	8,92
G3 (L20 sec)	250	892,85	5	17,85