ANA MARIA LIMA ALMEIDA

**DIFERENTES MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO DA POLIMERIZAÇÃO DE
RESINAS COMPOSTAS DE USO DIRETO**

São Paulo

2005

Ana Maria Lima Almeida

**Diferentes métodos de otimização da polimerização de resinas
compostas de uso direto**

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: Materiais Dentários

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Franci

São Paulo

2005

FOLHA DE APROVAÇÃO

Almeida AML. Diferentes métodos de otimização da polimerização de resinas compostas de uso direto [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

São Paulo, / / 2005

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: _____

DEDICATÓRIA

Ao “**Senhor**”

Pelos momentos vividos no decorrer deste curso, obrigada “**Senhor**”

Momentos difíceis, que me fizeram fortalecer;

Momentos solitários que me possibilitaram ficar sozinha comigo mesma, e reavaliar **valores**;

Momentos onde o desespero foi vencido pela **fé**;

Momentos em que portas fechadas não foram obstáculos para limitar minhas conquistas, pois tu **Senhor**, abristes janelões para mim;

Momentos em que a saudade, provocada pela distância de três mil quilômetros, foi sufocada pela certeza de tua **determinação**;

Momentos em que a minha ausência foi a oportunidade que permitiu maturidade e maior companheirismo entre meus filhos;

Momentos em que a falta de conforto foi necessária para reforçar, ainda mais, o valor da simplicidade da vida.

Momentos em que, no anonimato, pude desfrutar do prazer de cantar no **Koppo Sujjo**, com músicos talentosos;

Momentos em que o cuidado dispensado pelo servente de padaria, “**Seu Ceará**”, em preparar uma média clara, não muito quente e sem espuma, fez muita diferença;

Momentos em que à noite, no ônibus, de volta pra casa, eu e **Camões** rimos muito, ao lembrarmos de piadas e coisas de família;

Momentos em que durante o dia, cantando, neutralizava o aspecto sombrio da cor **verde do inferno de Dante**;

Momentos em que aprendi muito. Não só a essência técnica e científica, objeto de minha vinda aqui, mas também, conheci um pouco mais sobre o comportamento humano;

Momentos que reforçaram a certeza de que **tu me ouves**;

Momentos que me levam a dizer que é impossível não crer em **ti**.

Obrigada, **Senhor!**

AGRADECIMENTOS

*À memória de meu saudoso pai, **Gregório**,
Pelo legado genético que me concedeu, na incansável busca do saber.*

*Aos meus filhos maravilhosos, **Leandro e Luciano**,
Pelo tempo subtraído em nosso convívio,
Pelo comportamento exemplar na minha ausência,
Pela responsabilidade que tiveram em cuidar do nosso lar,
Pela cumplicidade em seus momentos,
Pelo prazer que sentem com a minha presença.*

*À minha mãe preta, **Júlia**,
Pela dedicação incansável em cuidar de todos nós,
Pelo amor dispensado à três gerações.*

*Aos meus irmãos: **Luiz Carlos, Rita de Cássia, Paulo Henrique, Maria da Graça e Augusto César**,
Pelo grande amor que nos une,
Pela colaboração que dispensaram a mim, e aos meus filhos, nesta minha ausência.*

***Àquele** que, quando eu não mais acreditava no amor, me fez sentir a necessidade de me dar uma nova chance de ser feliz.*

Aos meus cunhados: **Silvana, Rosália, Patrícia, Ricardo e Vitória.**

Aos meus sobrinhos: **Luiz André, Louise, Cíntia(Maria Clara), Greg, Eduardo e Rosângela,**

Pelo amor, amizade e carinho,

Pela harmonia em nosso convívio.

À **Carol,**

Pela carinho e responsabilidade com que tem cuidado do consultório.

À **Nadir e ao Sebastião**

Pela amizade e carinho no cuidado da minha casa.

Às “**Panteras**” Ana Emília, Ana Lúcia, Ana Maria Paruolo, Cristiane e Rose,

Pelo convívio, carinho e amizade sincera.

À amiga e colega **Cláudia,**

Pelo empenho em conseguir implantar este programa de Doutorado

Pela forma insistente em me convencer a fazê-lo.

Aos meus amigos e parceiros de cursos: **João Travassos e Júlio,**

Pela generosidade, que possibilitou a abertura de uma “janela”, no momento em que eu não via saída.

*À “grande figura” que é a amiga **Graça Faria**,
Pelos momentos de descontração partilhados,
Pela competente revisão da redação de minha tese.*

*À **Mônica Virgínia e Luciana Maria**,
Pela participação direta e dedicada com que atuaram na
realização deste trabalho.*

*Aos **professores e funcionários** do Departamento
de Materiais Dentários da FOU SP,
Pelo convívio e colaboração indispensável nestes
dois anos.*

*Aos **colegas da pós-graduação**, pelo convívio agradável.*

*Aos amigos e colegas da 1ª etapa do PQI, **Ferreira e Ivone**,
Pela parceria nesta jornada.*

*À **D.Maria**, pelo bom dia de todo dia.*

AGRADECIMENTO ESPECIAL

*Ao Prof. Dr. **Carlos Eduardo Francci**,*

Pela valiosa orientação neste trabalho.

Meu muito obrigada.

*À minha amada mãe, **Marize**,*

Pelo exemplo de coragem, fé e vontade de viver,

Pelo porto seguro que ela tem sido em nossas vidas,

Por sua participação de forma incondicional, em todo o percurso deste estudo,

Por seu grande amor.

“....na minha angústia, clamei ao Senhor, e
ele me respondeu: ***Eu quero, é minha determinação.***”

Almeida,AML

Almeida AML. Diferentes métodos de otimização da polimerização de resinas compostas de uso direto [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

RESUMO

Este trabalho avaliou a influência da densidade de energia da pré-cura, e de diferentes tratamentos pós-cura na otimização das propriedades físicas (Resistência à Flexão e Dureza Knoop) de resinas compostas diretas, visando a possibilidade de indicação para restaurações indiretas. Foram usadas as resinas diretas Fillmagic, Concept, Glacier, Z100, Masterfill e W3D Master e as indiretas Solidex e Belleglass HP como controle. Para cada resina direta foram confeccionados 60 espécimes em barra (10x2x2mm), 30 irradiados em uma face e 30 nas duas faces (30 espécimes = 10 controle, 10 autoclave e 10 forno de luz). Para as resinas indiretas foram preparados 10 espécimes conforme processamento de seus fabricantes. 380 espécimes foram submetidos ao ensaio de resistência à flexão (Kratos). De cada condição experimental, 10 fragmentos foram usados para ensaio de microdureza Knoop (Shimadzu HMV-2). A análise de variância e o teste de Tukey demonstraram significância para resistência à flexão nos fatores Resina ($p < 0,001$) e Tratamento ($p = 0,001$) e na interação Resina x Tratamento ($p = 0,001$). Para a microdureza Knoop os três fatores e as interações foram significantes: Resina ($p = 0,001$); Face ($p = 0,001$) Tratamento ($p = 0,017$); Resina x Face ($p = 0,001$); Resina x Tratamento ($p = 0,007$); Face x Tratamento ($p = 0,001$) e Resina x Face x Tratamento ($p = 0,024$). A maior média de cada resina direta, independente da condição experimental, foi comparada

às médias das resinas indiretas. Os resultados apontam que na resistência à flexão (Z100 = W3D = Fillmagic = Glacier) e (Z100 > Masterfill > Belleglass HP > Concept > Solidex). Na Dureza Knoop (Z100 > Belleglass HP, Fillmagic, W3D, Concept, Glacier, Masterfill e Solidex). Conclusão: as propriedades físicas (resistência à flexão e dureza Knoop) não são obstáculos na indicação de resinas compostas de uso direto para restaurações indiretas.

Palavras-Chave: resina composta, resistência à flexão, microdureza Knoop, tratamento pós-cura, autoclave, forno, polimerização

Almeida AML. Different methods in optimizing the polymerization of direct resin composites [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of pre-cure energy density, and additional post-cure treatments in optimizing the physical properties (Flexural strength and Knoop microhardness) of direct resin composites with the aim at allowing their use for indirect restorations. Direct resin composites evaluated were Fillmagic, Concept, Glacier, Z100, Masterfill and W3D Master; indirect composites were Solidex and Belleglass HP. Sixty bar-shaped specimens (10x2x2mm) were prepared for each material, so that 30 of them were light-cured by one surface and 30 on both surfaces. From the 30 specimens of each group, 10 were control, 10 were submitted to additional autoclave and 10 to light oven treatment. Ten specimens were prepared with each indirect composite following the manufactures' recommendations. The 380 specimens were submitted to flexural strength test (Kratos universal testing machine), and values obtained at fracture were reported. After that, 10 fragments were chosen for each experimental condition and assessed for Knoop microhardness (Shimadzu HMV-2). Data were submitted to analysis of variance and Tukey's test at $p<0.05$. Statistically significant differences were found among flexural strength results regarding composite materials ($p<0.001$), treatments ($p<0.001$) and interactions (composite x treatment, $p<0.001$). Regarding Knoop microhardness, both three factors and their interactions were also significant: composite ($p<0.001$), surface ($p<0.001$) and treatment ($p<0.017$), composite x surface ($p<0.001$), composite

treatment ($p < 0.001$), surface x treatment ($p < 0.001$) and composite x surface x treatment ($p < 0.024$). The highest mean value for each direct composite, regardless of the experimental condition, was compared to the mean values obtained for the indirect materials. With regard to flexural strength, comparisons point out that Z100 = W3D = Fillmagic = Glacier and Z100 > Masterfill > Belleglass HP > Concept > Solidex, whereas for Knoop microhardness Z100 > Belleglass HP, Fillmagic, W3D, Concept, Glacier, Masterfill and Solidex. Conclusion: considering the physical properties evaluated in this study, they are not an obstacle to the indication of direct composites for indirect restorations.

Keywords: composite resin, flexural strength, Knoop microhardness, post-cure treatment, autoclave, oven, polymerization

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Dimensões do espécime para o ensaio de resistência à flexão.....	55
Figura 4.2 - Matriz bipartida para confecção dos espécimes.....	55
Figura 4.3 - Organograma de cada condição experimental.....	57
Figura 4.4 - Planilha utilizada para o teste de resistência à flexão (exemplo de uma condição experimental).....	58
Figura 4.5 - Detalhe do dispositivo para realização do teste de resistência à flexão.....	59
Figura 4.6 - Fórmula para cálculo da resistência à flexão.....	59
Figura 4.7 - Ilustração do fragmento do espécime fixado sobre um botão de resina composta quimicamente ativada, para verificação da dureza Knoop.....	60
Figura 4.8 - Indentação com o microdurômetro realizada na superfície de resina composta fotopolimerizada.....	61
Figura 4.9 - Planilha utilizada para o teste de dureza Knoop, exemplo de uma condição experimental.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 – Resistência à Flexão - Médias, desvios padrão da interação Resina x Tratamento	63
Gráfico 5.2 - Resistência à Flexão – Médias e Teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Tratamento (média e distribuição por grupo).....	66
Gráfico 5.3 - Resistência à Flexão – Médias e Teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas de uso direto e das resinas de laboratório.....	69
Gráfico 5.4 – Dureza Knoop – Médias e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Face x Tratamento.....	79
Gráfico 5.5 – Dureza Knoop – Médias e teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Resinas compostas testadas.....	53
.	
Quadro 4.2 - Sistemas de polimerização.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Resistência à Flexão - Análise de variância para as resinas compostas de uso direto.....	62
Tabela 5.2 – Resistência à Flexão – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Resina	64
Tabela 5.3 – Resistência à Flexão – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Tratamento ..	64
Tabela 5.4 – Resistência à Flexão - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Tratamento	66
Tabela 5.5 - Resistência à Flexão – Análise de Variância considerando as médias das melhores condições experimentais das resinas de uso direto e das resinas de laboratório.....	67
Tabela 5.6 – Resistência à Flexão - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório.....	69
Tabela 5.7 – Dureza Knoop - Análise de variância para as resinas compostas de uso direto.....	70
Tabela 5.8 – Dureza Knoop - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Resina	71
Tabela 5.9 – Dureza Knoop - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Face.....	73
Tabela 5.10 – Dureza Knoop - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Tratamento	73

Tabela 5.11 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Face.....	74
Tabela 5.12 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Tratamento	75
Tabela 5.13 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Face x Tratamento.....	76
Tabela 5.14 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Face x Tratamento.....	78
Tabela 5.15 –Dureza Knoop - Média das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório.....	80
Tabela 5.16 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório.....	81

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1 Resinas	23
2.2 Técnica de restauração indireta	24
2.3 Fatores que interferem nas propriedades físicas	26
2.3.1 composição química	25
2.3.2 polimerização	32
2.3.3 tratamento adicional (pós-cura)	35
2.4 Propriedades Mecânicas	42
2.4.1 resistência à flexão	42
2.4.2 dureza Knoop	45
3 PROPOSIÇÃO	52
4 MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1 Resinas Compostas	53
4.2 Sistemas de polimerização	54
4.3 Materiais, instrumentais e equipamentos	54
4.4 Confeção dos espécimes	55
4.5 Tratamento adicional (pós-cura)	57
4.6 Teste de resistência à flexão	57
4.7 Teste de dureza Knoop	60
5 RESULTADOS	63
5.1 Teste de Resistência à Flexão	63
5.1.1 resinas compostas de uso direto	63
5.1.1.1 fator resina	64
5.1.1.2 fator tratamento	65
5.1.1.3 interação resina x tratamento	66
5.1.2 resinas de uso direto x resina de uso indireto	68
5.2 Teste de Dureza Knoop	70
5.2.1 resinas de uso direto	70
5.2.1.1 fator resina	71

5.2.1.2 fator face.....	72
5.2.1.3 fator tratamento.....	73
5.2.1.4 interação resina x face.....	74
5.2.1.5 interação resina x tratamento.....	75
5.2.1.6 interação face x tratamento.....	76
5.2.1.7 interação resina x face x tratamento.....	77
5.2.2 resinas de uso direto x resinas de uso indireto.....	79
6 DISCUSSÃO	81
7 CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS	92
ANEXOS.....	101

1 INTRODUÇÃO

A preocupação da Odontologia em busca da satisfação estética e funcional, é constatada com o avanço tecnológico da atualidade. Este avanço tenta acompanhar as exigências do mercado, uma vez que seu público alvo solicita cada vez mais trabalhos clínicos em que a estética é um dos principais fatores a serem considerados. Nota-se uma preocupação dos pesquisadores em desenvolver técnicas que possibilitem o binômio estética/função se tornar acessível à população menos privilegiada.

A formulação de novas resinas compostas, ou o aperfeiçoamento de outras com grande aceitação no mercado odontológico, objetiva substituir o amálgama em dentes posteriores. Entretanto, importantes propriedades inerentes às resinas compostas precisam ser trabalhadas para minimizar alguns problemas, tais como infiltração marginal, pouca resistência ao desgaste e à abrasão, contração de polimerização, deformação permanente, entre outros. A indicação de resinas compostas laboratoriais ou indiretas para dentes posteriores vem sendo muito enfatizada na tentativa de reduzir estas falhas. A grande aceitação no mercado odontológico, deve-se ao seu menor custo e técnica simplificada quando comparada com restaurações totalmente cerâmicas.

A simples aplicação de luz visível para a polimerização de resinas compostas diretas, obedecendo ao tempo e à intensidade de luz recomendados pelos fabricantes, não resulta em uma polimerização completa de toda a matriz resinosa (KILDAL; RUYTER, 1994). Entretanto, a adição de calor após a fotopolimerização pode proporcionar uma polimerização complementar (FERRACANE; CONDOR,

1992). Geralmente esse tratamento térmico adicional é feito em fornos especiais, associando luz e calor na polimerização de resinas compostas de uso indireto para confecção de inlay/onlay (ELDIWANY; POWERS; GEORGE, 1993). No entanto, outros trabalhos mostram a simplificação na obtenção do tratamento térmico adicional, possibilitando alternativas mais econômicas, como é o caso do emprego da autoclave (COVINGTON; MCBRIDE, 1990), ou utilizando água em ebulição, que, segundo Loza-Herrero e Rueggeberg (1998), este método produz o mesmo efeito dos fornos comerciais.

Baseado na literatura parece lícito avaliar a influência da densidade de energia na pré-cura e de tratamentos pós-cura com autoclave ou com forno de luz na otimização das propriedades físicas (resistência à flexão e microdureza Knoop) de resinas compostas de uso direto, visando a possibilidade de indicação para restaurações indiretas, tipo inlay/onlay, com o objetivo de minimizar custos laboratoriais e, conseqüentemente, reduzir o custo final para o paciente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Algumas considerações de fundamental importância relacionadas a esta pesquisa serão abordadas neste capítulo. Entretanto, convém salientar que as citações de autores e respectivos trabalhos não obedecerão a uma ordenação cronológica padrão, isto para favorecer a leitura deste trabalho, tornando-a agradável e de fácil compreensão.

2.1 Resinas

Ruyter (1992) fez uma comparação do desempenho de resinas compostas fotoativadas com relação às que utilizam polimerização adicional para a confecção de restaurações pela técnica indireta. Em relação à composição química, as resinas compostas de uso indireto são semelhantes às usadas na técnica direta, tornando possível a utilização de resinas compostas de uso direto pela técnica indireta, após uma segunda polimerização extra-oral. Esta polimerização adicional pode ser obtida através de calor seco ou úmido, associado à pressão ou a vácuo.

Xu (2000) relatou que as resinas compostas de uso odontológico disponíveis no mercado são inadequadas para confecção de coroas ou peças extensas em regiões de grandes esforços mastigatórios e restaurações múltiplas. Avaliou também a influência da incorporação de fibras cerâmicas na matriz da resina composta, bem como do tempo e da temperatura de polimerização nas propriedades

mecânicas. Os resultados mostraram que a resistência à flexão e a dureza das resinas compostas reforçadas com fibras cerâmicas foram quase duas vezes maiores que as encontradas nas resinas de uso indireto para inlay/onlay.

2.2 Técnica de restauração indireta

Muitas são as vantagens em fazer uso da técnica de restauração indireta, entre elas, podemos ressaltar a facilidade na obtenção do correto contato proximal com os dentes adjacentes, considerado um dos passos mais difíceis de se obter pela técnica direta. Em se tratando de polimerização, o processamento em laboratório permite maior profundidade de polimerização, maior conversão de monômeros residuais e menor quantidade de poros devido à liberação de tensões durante o processo de cura (WALTON, 1992). Um outro fator positivo observado nesta técnica é a facilidade na realização do acabamento e polimento de restaurações inlay/onlay. O autor afirma ainda que outra grande vantagem desta técnica é a contração de polimerização que ocorre fora da cavidade bucal, sendo restrita à fina camada do agente cimentante (RUYTER, 1992).

Algumas desvantagens também são reportadas na literatura, como por exemplo o fator “custo”. Este é muito relativo. Se comparar com uma resina composta de uso direto, o valor de uma restauração indireta é bem maior por agregar fatores relacionados ao seu processamento, tais como moldagens, modelos, provisórios, cimento de fixação, maior número de sessões e a terceirização de serviços em laboratório protético que envolve materiais, equipamentos, fornos

especiais, etc. (WALTON, 1992; ELDIWANY; POWERS; GEORGE, 1993). O oposto também ocorre quando se compara restaurações de resina composta de uso indireto com restaurações cerâmicas. O custo do processamento de uma restauração cerâmica é superior ao de uma resina composta de laboratório. Entretanto, com toda complexidade de obtenção, as restaurações cerâmicas apresentam maior risco de fratura por serem mais frágeis que as restaurações de resina composta, exigindo maior habilidade do técnico em controlar o grau de contração da porcelana após sua cocção para que haja uma perfeita adaptação da restauração cerâmica ao dente (PITEL, 1996; CHALIFOUX, 1998).

Pode-se citar ainda, como desvantagem, que as restaurações cerâmicas podem promover maior desgaste dos dentes antagonistas, principalmente se a camada de *glaze* for removida. No entanto, possuem alta resistência ao desgaste e ao manchamento, assim como estabilidade de cor (TOUATI, 1996; CRISTENSEN, 1996; NASH, 1997; WOODS, 1998).

2.3 Fatores que interferem nas propriedades físicas

2.3.1 composição química

McCabe (1984) acredita que entre os fatores que interferem nas propriedades mecânicas das resinas compostas pode-se ressaltar sua composição. O tamanho e a quantidade de carga são considerados os aspectos que apresentam

mais significância. Os maiores valores de dureza e de resistência à tração diametral foram observados em resinas com a maior concentração de carga (CHUNG, 1990; CHUNG; GREENER, 1990). Para Mante, Saleh e Mante (1993), os fatores relacionados à composição do material que interferem na resposta ao tratamento térmico são: concentração de diluentes e inibidores na matriz, concentração de carga (em volume), quantidade de monômero residual e concentração de agentes fotossensíveis.

O efeito da concentração e tamanho da carga nas propriedades mecânicas de resinas compostas experimentais foi objeto de pesquisa desenvolvida por Li et al. (1985). Neste estudo utilizaram dois tamanhos de cargas (2 μ m e 15 μ m) e a concentração, em volume, variou de 20 a 65%. Os resultados mostraram que todas as propriedades mecânicas testadas tiveram uma melhora significativa com o aumento da concentração da carga. Quanto ao tamanho, concluíram que o desempenho mecânico das resinas com carga de 15 μ m foi estatisticamente maior que as resinas com carga de 2 μ m.

Anusavice (1996) afirma que nas resinas compostas híbridas é comum uma grande quantidade de carga devido à inclusão significativa de partículas que variam de tamanho entre 0,04 μ m a 0,5 μ m. Este volume de carga só é conseguido pela acomodação das partículas menores entre os espaços das partículas maiores, havendo desta maneira uma grande compactação de cargas.

Cook e Johansson (1987) avaliaram a resistência à fratura de resinas compostas fotopolimerizáveis à base de dimetacrilato, ocorrendo na dependência da densidade de ligações cruzadas da matriz conforme tratamento térmico adicional em várias temperaturas. Os resultados mostraram que houve aumento da dureza Knoop através do tratamento térmico adicional, observado também nas redes de amina-

epoxi. A resistência à flexão e a resistência à tração diametral também foram aumentadas através de tratamento térmico adicional. Os autores afirmam que a resistência das resinas compostas pode ser alcançada aumentando o grau de polimerização.

Asmussen e Peutzfeldt (1990) avaliaram o efeito do tratamento térmico adicional nas propriedades mecânicas (resistência à flexão, à tração diametral e módulo de elasticidade) de quatro resinas experimentais com diferentes conteúdos de monômero, em 5mol: A – (25% BisGMA + 75% TEGDMA); B – (25% BisGMA + 25% TEDGMA + 50% UEDMA); C- (25% BisGMA + 25% TEDGMA + 25% UEDMA + 25% HEMA); D – (25% BisGMA + 25% TEDGMA + 50% HEMA). Os resultados mostraram diferença significativa entre as médias de resistência à flexão das resinas testadas para a condição experimental. A influência da temperatura foi significativa para as resinas A, B e D, mas não para a resina C. Isso demonstra o efeito da composição do monômero e o tratamento térmico nas propriedades mecânicas do material.

O avanço na evolução da composição das resinas compostas é justificado por Peutzfeldt (1997), devido a dois fatores: carga e iniciadores. A maioria das resinas compostas tem como base o Bis-GMA e suas variações. O Bis-GMA apresenta alta viscosidade por ser um monômero de grande peso molecular, dificultando a polimerização da resina. Tal fato se deve a alta rigidez da molécula do Bis-GMA que impede o trânsito dos monômeros durante a polimerização. Entretanto, essa viscosidade pode ser alterada com a incorporação de monômeros diluentes de menor peso molecular, o que possibilita a incorporação de maior quantidade de carga, aumentando assim sua fração inorgânica. A consequência negativa da incorporação de diluentes é acarretar um aumento da contração de polimerização,

uma vez que estes monômeros possuem menor peso molecular (FALCO, 1990; PEUTZFELDT, 1997).

Peutzfeldt (1997) compara a viscosidade da água 1mPa.s (23°C) com a viscosidade do Bis-GMA que é aproximadamente 1.000.000mPa.s (23°C). Os monômeros mais usados como diluentes são: o etilenoglicol dimetacrilato (EGDMA) e o trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA), que tem viscosidade igual á 10mPa.s (23°C).

Ferracane e Greener (1986) afirmam que as resinas com grande concentração de Bis-GMA possuem menor grau de polimerização que aquelas formadas por uma mistura de Bis-GMA e do diluente TEGDMA. A concentração do diluente aumenta o grau de conversão devido à flexibilidade do TEGDMA que permite uma maior mobilidade dos monômeros. Outro monômero alternativo ao Bis-GMA é o uretano dimetacrilato (UDMA), que possui peso molecular semelhante ao Bis-GMA, porém, sua viscosidade é menor (11.000mPa.s a 23°C) (PEUTZFELDT, 1997).

As resinas baseadas em UDMA possuem resistência à flexão significativamente maior que aquelas à base de Bis-GMA. Nestas resinas com UDMA, nota-se a formação de pontes de hidrogênio entre as moléculas desse monômero que influenciam na qualidade das propriedades mecânicas, comprovadas com o aumento do grau de conversão conseguido com o UDMA (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 1992b; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1998). Apesar do aumento dos valores de resistência à flexão, o módulo de elasticidade diminuiu com o aumento da concentração de UDMA. Isto é explicado pelo fato de que essa molécula confere maior flexibilidade ao material.

Manhart et al. (2000) determinaram a resistência à flexão, módulo de flexão, resistência à fratura e a resistência ao desgaste de três resinas compactáveis (Solitaire, Surefill e Alert), uma ormocer (Definite) uma composta híbrida (Tetric Ceram) e uma resina que libera íons (Ariston pHc). Os resultados mostraram que a resinas compostas Tetric Ceram, Ariston pHc e Definite não tiveram diferenças estatisticamente significativas; enquanto a Solitaire, os resultados foram significativamente mais baixos que para as outras resinas compactáveis, Tetric Ceram e Ariston pHc. Os autores explicam estes baixos parâmetros para a resina Solitaire por conter uma alta porcentagem em volume de partículas porosas que se fundem com a matriz resinosa resultando em uma nova interação matriz-carga. A Alert, que é reforçada por fibras de vidro, e a Surefill exibiram uma alta resistência à flexão, módulo de flexão e resistência à fratura, que é o resultado da alta porcentagem das partículas em peso, respectivamente 84% e 82%. Os autores concluíram que as próprias partículas, seu peso e a interação matriz-carga têm grande influência no parâmetro de fratura das resinas, mais do que a estrutura da matriz orgânica.

Peutzfeldt e Asmussen (2000) avaliaram vários métodos de tratamento térmico adicional de duas resinas compostas, Z100 e Charisma, quanto ao grau de conversão, resistência à tensão diametral, resistência à flexão e resistência ao desgaste. Apesar dos autores relatarem, através da literatura, que a proporção de BisGMA:TEGDMA é fator fundamental para o grau de conversão das resinas compostas, não conseguiram significância entre duas resinas compostas comparadas, mesmo a Z100 possuindo 50% de BisGMA e 50% de TEGDMA e a resina Charisma possuir 68% de BisGMA e 32% de TEGDMA. Quanto à resistência à flexão puderam observar que a Z100 se comportou melhor que a Charisma, o que

é explicado pela composição e pela alta quantidade em peso das cargas que possui a Z100.

Ho et al. (2001) realizaram tratamento térmico adicional para melhorar a estabilidade mecânica de resinas compostas fotopolimerizáveis. Materiais de base UDMA apresentaram maior amolecimento em água através de mudança de temperatura que os de base BisGMA e os de base OCDMA. Ressaltam também que o tipo de composição determina o grau de influência na resistência à flexão.

Pereira et al. (2003) investigaram a resistência à flexão de duas resinas compostas, uma híbrida e uma de micropartículas, o efeito das duas combinadas e a influência da fibra de polietileno de reforço. Os autores concluíram que os compósitos de micropartículas apresentaram menor resistência à flexão, mas estes, quando associados com compósitos híbridos, aumentaram a resistência à fratura. A combinação de fibras de polietileno e compósitos híbridos não apresentou aumento na resistência à flexão quando comparadas com o compósito híbrido sozinho.

Santana et al. (2004) avaliaram o efeito de um tratamento térmico (150°C/30min-TT) na resistência à flexão de três tipos de compósitos: Microfill (Heliomolar – HE); nanoparticulado (Supreme – SU) e microhíbrido (Fillmagic – FM). Os resultados mostraram que tanto o material ($p < 0,001$), quanto o tratamento ($p < 0,05$) foram significativos, bem como a interação dos fatores ($p < 0,01$). As médias em MPa para as seis condições foram: SU/TT=124; SU/C=133; HE/TT=93; HE/C=85; FM/TT=158; FM/C=130 (Tukey=20). Os autores concluíram que o efeito do aumento de resistência observado pelo tratamento térmico foi dependente do tipo de resina composta.

Peutzfeldt (1997) afirmou que é muito difícil detectar diferenças entre os desempenhos dos diferentes monômeros nos estudos *in vivo* e *in vitro* porque existe

muita variação no que se refere ao tipo e quantidade de carga das marcas comerciais testadas.

Outros compostos químicos também influenciam as propriedades das resinas compostas. Ferracane e Greener (1986) observaram que quanto maior a concentração de inibidores, menor é o grau de polimerização da resina, levando à diminuição dos valores de resistência à flexão, módulo de elasticidade e dureza. Os inibidores ligam-se aos radicais livres formados durante a reação de polimerização, promovendo a interrupção precoce no crescimento das cadeias poliméricas.

Rueggeberg, Ergle e Lockwood (1997) estudaram o efeito do aumento da concentração de iniciador na resistência à flexão e na conversão de monômeros, depois da fotopolimerização inicial e depois, do tratamento térmico adicional. A resistência à flexão dos grupos polimerizados com mudança de concentração do iniciador não foi influenciada, mas obteve aumento significativo através do aquecimento no tratamento térmico adicional. Os autores concluíram que o aumento da fotopolimerização nivela os resultados do tratamento térmico adicional das restaurações com valores mais altos de conversão de monômero.

A melhora das propriedades físicas, resistência à flexão e módulo de flexão, de uma resina composta pode ser atribuída à quantidade de partículas de carga e ao número de ligações cruzadas obtido após a polimerização (YAP et al., 2002). A resistência à flexão e o módulo de elasticidade das resinas compostas podem ser melhorados com o acréscimo de agentes de ligação cruzada como, por exemplo, os aldeídos e as dicetonas (Peutzfeldt; Asmussen, 1992c; Peutzfeldt; Asmussen, 1992b). Dependendo da densidade de ligações cruzadas presentes nas resinas compostas à base de dimetacrilato, os autores Cook e Johansson (1987) afirmaram que o tratamento térmico adicional pode promover aumento significativo

das propriedades mecânicas (resistência à flexão e dureza). Os autores Peutzfeldt e Asmussen (1992c) ressaltam ainda que, para que aconteça um aumento de ligações cruzadas na matriz de uma resina composta, através da adição de anidrido-carboxílico, a resina deve ser submetida a um tratamento térmico adicional a 150°C por uma hora.

Yap et al. (2002) estudaram as mudanças que ocorrem na resistência à flexão de resinas compostas Filtek A110, Z100 e Filtek Z250, F2000 e Filtek Flowable depois de armazenadas em água a 37°C por sete dias e outra metade por trinta dias. A resina composta Z100 seguida pela Z250 apresentaram os maiores valores de resistência à flexão enquanto que os menores valores foram apresentados pela resina composta Filtek A110. Os autores atribuem a alta resistência à flexão das resinas compostas Z100 e Filtek Z250 pelo seu alto volume de partículas. Quanto à resina composta A110, associam seus baixos resultados à pequena quantidade de carga e pela fraca adesão das partículas pré-polimerizadas na sua matriz.

2.3.2 polimerização

Efeitos físicos relacionados à polimerização de uma resina composta podem determinar conseqüências nas propriedades físicas da mesma. Entre eles podemos relatar: profundidade de polimerização, tempo de exposição da luz, espessura da camada de resina, intensidade de fonte luminosa, volume e forma de inserção do incremento, cor da resina, ausência de oxigênio no ambiente de

polimerização, etc. Resultados significativos quanto à profundidade de polimerização das resinas compostas foram encontrados por Rueggeberg; Caughman; Curtis Jr. (1994) onde concluíram que profundidades maiores que 2mm resultam em polimerização deficiente, e que a polimerização de uma resina composta está muito suscetível a mudanças da intensidade de luz e ao tempo de exposição. De acordo com estes resultados os autores recomendam como rotina, um tempo de exposição de 60 segundos, usando uma fonte de luz com intensidade de no mínimo de 400mW/cm^2 e a espessura de cada incremento não deveria exceder 2mm, sendo o ideal, camadas com 1mm. Fontes com valores de intensidade menores que 233mW/cm^2 não deveriam ser usadas por causa de suas características deficientes para a polimerização.

Yoon et al. (2002) estudaram o grau de polimerização de resinas compostas através de diferentes fontes luminosas, avaliando a efetividade de polimerização da luz azul, recentemente introduzida na forma de LED (diodo emissor de luz) (Experimental, SNU, Coréia), e arco de plasma (PAC) (Apolo 95E, Elite, DMD, E.U.A.) comparado-os à fotopolimerização por lâmpada halógena convencional (Espectro 800, Dentsply, E.U.A.). Variaram o tempo de irradiação, com intensidade fixa de luz nas unidades polimerizadoras (LCUs) para produzir a mesma energia de luz total. Observaram que quando a energia de luz foi aumentada duas vezes, nenhuma diferença significativa no grau de conversão foi observada até 2 mm da superfície, mas o grau de conversão aumentou significativamente a partir de 3 mm da superfície.

Miyazaki et al. (1996), estudaram a possível relação entre a variação no tempo e na intensidade de luz na resistência à flexão de quatro resinas compostas (Clearfil AP-X, Herculite XRV, Palcifique Estelite e Z100). Concluíram que não houve

nenhuma diferença significativa entre as quatro resinas testadas e que a polimerização com baixa intensidade pode ser compensada com o aumento do tempo de fotoativação, proporcionando valores de resistência à flexão semelhantes aos conseguidos com alta intensidade e com tempo menor. Segundo os autores, a energia acumulada na fotoativação é a responsável pelo padrão de polimerização das resinas compostas.

Mehl, Hickel e Kunzelmann (1997) preconizam que a polimerização inicial com baixa intensidade luz, seguida por polimerização final com intensidade de luz alta, proporciona melhoramento significativo das propriedades físicas, e em particular, na integridade marginal de restaurações de resinas compostas fotopolimerizadas.

Estudos cinéticos complementares confirmaram o efeito da temperatura de polimerização no aumento significativo da taxa de polimerização das resinas compostas dentais. Elevando a temperatura de polimerização da resina composta, dentro dos limites biologicamente compatíveis, pode resultar em influências significativas, onde as taxas de conversão aumentadas poderiam conduzir a melhora das propriedades das resinas compostas para uso odontológico (TRUJILLO; NEWMAN; STANSBURY, 2004).

Outro fator que interfere nas propriedades físicas de uma resina composta é o local onde acontece a polimerização. Durante a polimerização de uma resina composta em ambiente saturado por nitrogênio, o oxigênio, que é um inibidor da reação de polimerização, é eliminado, favorecendo maior obtenção do grau de conversão de monômeros (TOUATI; AIDAN, 1997; CHALIFOUX, 1998).

A redução de monômeros livres, sem dúvida, resulta na melhoria das propriedades físicas. Resinas compostas polimerizadas em atmosfera de nitrogênio

apresentam dureza superficial superior àquelas polimerizadas em atmosfera normal (ONOSE et al., 1985) e redução na formação de poros (WILSON; NORMAN, 1991).

A inibição da polimerização da resina pelo oxigênio ocasiona a formação de poros. O poro é uma região onde se observa maior concentração de tensões sendo menos resistente à solicitação mecânica.

Leinfelder (1997) adverte que apesar das vantagens enumeradas, um inconveniente estético pode ser notado devido ao alto grau de translucidez do material em consequência do menor número de bolhas de ar, conseguido pela polimerização da resina composta em atmosfera saturada de nitrogênio.

2.3.3 tratamento adicional (pós-cura)

A polimerização secundária é um método utilizado para aumentar o grau de conversão da resina composta depois da irradiação da luz de polimerização ter sido aplicada. O objetivo desta técnica é aumentar as propriedades físicas da resina composta. Esta polimerização pode ser obtida através de calor seco ou úmido associado à pressão ou a vácuo (RUYTER, 1992), luz ou calor (PARK; LEE, 1996) forno a calor seco, forno de luz, microondas, autoclave (SOARES et al., 2005), forno (ELDIWANY; POWERS; GEORGE, 1993), autoclave (COVINGTON; MCBRIDE, 1990) ou colocando a peça no interior de um saco plástico hermeticamente fechado que é levado a um banho de água fervente por dez minutos. Segundo Loza-Herrero e Rueggeberg (1998), a imersão em água em ebulição tem o mesmo efeito dos fornos comerciais.

Entre as diferentes formas de obtenção de polimerização secundária, enquadram-se as realizadas através dos seguintes tratamentos adicionais:

a) Tratamento térmico adicional à calor seco (COOK; JOHANNSON, 1987; KANCA III, 1989; KANDIL et al., 1989; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1990; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 1991; FERRACANE; CONDOR, 1992; HINOURA et al., 1993; HIRABAYASHI; HOOD; HIRASAWA, 1993; TAKESHIGE; KINOMOTO; TORII, 1995; LI et al., 1985; RUEGGERBERG; ERGLE; LOCKWOOD, 1997; LOZA-HERRERO et al., 1998; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2000; XU, 2000; HO et al., 2001; SANTANA et al., 2004; KOUPIIS et al., 2004);

b) Tratamento térmico adicional em água a 100°C (POWERS et al., 1993; FERRACANE; MITCHEN, 1994; REINHARDT; BOYER; STEPHENS, 1994; RAZAK; HARRISON, 1997; LOZA-HERRERO; RUEGGERBERG, 1998).

c) Tratamento térmico adicional através de fonte luminosa com variação da intensidade de luz (UNTERBRIK; MUESSNER, 1995; MEHL; HICKEL; KUNZELMANN, 1997; TANOUE; MATSUMURA; ATSUTA, 1998; TANOUE; ATSUTA; MATSUMURA, 2003).

d) Tratamento térmico adicional em autoclave (CORRÊA, 2000; LISBOA; SAITO; CARDOSO, 2004).

e) Tratamento térmico adicional utilizando forno de microondas (SOARES et al., 2005).

Em relação ao tempo de exposição de luz utilizado na polimerização de resinas compostas, Rueggeberg, Caughman e Curtis Jr. (1994) recomendam como prática rotineira, a aplicação de luz por sessenta segundos. No entanto, em se tratando de propriedades mecânicas, a maioria dos sistemas de resinas compostas,

sob aplicação de luz por dois minutos, não promove aumento significativo dessas propriedades.

Na polimerização convencional de uma resina composta, a simples ativação por luz, independente do tempo de aplicação e da intensidade, resulta em uma polimerização incompleta. Isso ocorre pois durante a polimerização das resinas compostas, a luz fornece energia necessária para a ativação dos monômeros, que se ligam uns aos outros formando uma rede polimérica tridimensional. Em um determinado momento, devido ao aumento de sua massa, a energia fornecida pela luz não é mais suficiente para que novas moléculas sejam incorporadas à rede de polímeros, resultando na presença de dupla ligação e radicais livres remanescentes do material (BURTSCHER, 1993). Com o tratamento térmico adicional, o calor gerado fornece energia para a resina, aumentando a mobilidade dos monômeros residuais, permitindo sua difusão entre as cadeias poliméricas. Isto porque a flexibilidade dos polímeros também é aumentada pela adição de calor. Desta forma se obtém maior grau de conversão de monômeros devido a um maior número de ligações cruzadas e, conseqüentemente, maior grau de polimerização da resina (KILDAL; RUYTER, 1994; TAKESHIGE; KINOMOTO; TORII, 1995). Quanto maior o grau de conversão inicial, mais eficiente será o tratamento térmico (HIRABAYASHI; HOOD; HIRASAWA, 1993).

O grau de polimerização da resina composta após tratamento térmico adicional é influenciado pelo grau de conversão obtido na fotoativação inicial (HIRABAYASHI; HOOD; HIRASAWA, 1993; LOZA-HERRERO et al., 1998). Para que se obtenha um bom grau de conversão de monômeros, é necessário que a resina composta a ser submetida a tratamento térmico adicional seja polimerizada em camadas na fase de polimerização inicial (PARK; LEE, 1996).

Park e Lee (1996) determinaram a diferença no grau de conversão em várias espessuras de resina composta depois do tratamento térmico adicional. O resultado mostrou que quanto mais distante estiver a fonte luminosa, menor será o grau de conversão. Observaram também que no tratamento térmico adicional, o aumento do grau de conversão é mais significativo nas camadas mais distantes da fonte de luz, devido ao alto grau de conversão conseguido com a polimerização inicial.

Park (1996) comparou as mudanças no grau de conversão nas várias camadas de resinas compostas depois de tratamento térmico adicional. Neste trabalho utilizou quatro tipos de resinas e três tipos de fornos para inlay. Depois do tratamento adicional por fotopolimerização ou por termopolimerização, as amostras foram seccionadas em quatro níveis de profundidade, sendo que em cada nível (fatia) tinha a espessura de 50 a 70µm, de acordo com a distância da fonte luminosa. Cada fatia foi analisada através de um espectrofotômetro infravermelho para determinar o grau de conversão. Observou que quando a temperatura do tratamento térmico foi elevada, o grau de conversão das resinas foi significativo, e que o valor do aumento da temperatura diferiu entre os materiais. Acredita que o desempenho clínico de uma resina composta para inlay, submetida a tratamento térmico adicional, pode ser diferente dependendo do material.

Peutzfeldt e Asmussen (1992a) afirmam que a temperatura ideal de um tratamento térmico adicional está entre 125 e 150°C e o tempo de sua aplicação deve ser de uma hora. Observam que períodos maiores, apesar de resultarem em melhores propriedades mecânicas, causam descoloração da resina. Shinkai et al. (1994) advertem que para conseguir maiores valores das propriedades físicas, a temperatura do tratamento térmico adicional deve estar entre 100 e 125°C e que

temperaturas acima de 175°C provocam mudanças de cor da resina. Peutzfeldt (1995) ressaltou que nos grupos onde a temperatura de pós-polimerização foi acima ou igual a 200°C, a quantidade de ligações duplas remanescentes não pôde ser estabelecida devido ao derretimento do polímero. Notou que a melhor resistência ao desgaste foi conseguida por volta de 120°C, e que a determinação da quantidade de ligações duplas remanescentes é importante para poder estabelecer o tempo de pós-polimerização.

Bagis e Rueggeberg (1997) verificaram a relação entre temperatura e o tempo de tratamento adicional no grau de conversão da resina composta Herculite XRV (SDS Kerr), através da análise do FTIR, submetida a tratamento térmico adicional nas temperaturas de 50, 75, 100 e 125°C, e nos tempos de 30 segundos, 1, 3, 5, 7 minutos. De acordo com os resultados, todas as condições experimentais influenciaram o grau de conversão. O tratamento entre 3 e 7 minutos, à temperatura de 125°, mostrou-se o mais eficiente para o aumento do grau de conversão (70% em média), enquanto que a resina que não recebeu tratamento, apresentou os menores valores (50% em média). Os autores afirmaram que a influência da temperatura do tratamento térmico é de doze vezes maior que a do tempo de tratamento. Segundo os autores, imaginar um tratamento térmico intrabucal utilizando temperaturas baixas por um longo período de tempo pode não significar melhora no grau de conversão e, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas. Portanto, foi preconizada a temperatura de 125°C por 7 minutos para tratamento térmico adicional.

Bagis e Rueggeberg (2000) estudaram a influência da temperatura de pós-polimerização na quantia de monômero residual de uma restauração de resina composta com fotopolimerização inicial seguida de tratamento térmico adicional. Compararam as quantias de cada monômero residual em cada tratamento de

polimerização diferente. Os resultados mostraram que até mesmo o mais baixo tratamento térmico adicional (50°C) resultou em redução de 80% e monômeros residuais de TEGDMA, redução de 75% de BIS-GMA, e 77% mais baixo BIS-GMA que o controle só fotopolimerizado. O tratamento térmico adicional a 75°C resultou na mais baixa quantia monômero residual sobre cada tipo de polímero.

Através da determinação da quantidade de ligações duplas remanescentes é possível prever o tempo mínimo necessário para aplicação de um tratamento térmico adicional eficiente.

Segundo Ruyter (1992), as resinas submetidas a tratamento térmico adicional possuem uma maior conversão na polimerização da matriz resinosa e, conseqüentemente, melhores propriedades mecânicas. Amin e Gomaa (1994) concluíram que as resinas submetidas ao tratamento térmico adicional apresentaram menores valores de alteração dimensional. Estudo realizado por Eldiwany, Powers e George (1993) mostra que o tratamento térmico adicional melhorou a dureza de indentação Knoop (7-46 %). Asmussen e Peutzfeldt (1990) verificaram um aumento de algumas propriedades mecânicas de resinas submetidas a tratamento térmico adicional. O tratamento térmico adicional melhorou significativamente as propriedades de resistência ao dobramento, módulo de elasticidade e dureza Knoop da resina composta Clearfil (TAKESHIGE; KINOMOTO; TORII, 1995).

O tratamento térmico em autoclave apresentou melhora significativa da resistência à tração diametral, resistência à compressão, dureza Rockwell e resistência à abrasão (COVINGTON; MCBRIDE, 1990).

Kandil et al. (1989) avaliaram as propriedades mecânicas de alguns compósitos dentais sob efeito da temperatura e armazenagem. Os resultados constataam aumento significativo das propriedades mecânicas (força de compressão,

resistência à tração diametral, módulo elasticidade e dureza) em todas as resinas investigadas com aumento de temperatura e tempo. Isto foi explicado em termos da influência de temperatura na taxa de polimerização dos materiais, sendo atribuída à polimerização adicional devido à continuidade de polimerização do conteúdo polimérico do sistema das resinas. Loza-Herrero e Rueggberg (1998) notaram que o tratamento térmico diminui a quantidade de monômero residual nas resinas compostas, assim como Bagis e Rueggeberg (2000).

Entretanto, a literatura mostra diversos trabalhos que suscitam dúvida quanto à eficiência do tratamento térmico adicional, sobre as propriedades mecânicas das resinas compostas. O estudo, de Wendt Jr. e Leinfelder (1990), mostrou que o desempenho clínico de resinas compostas para restaurações posteriores, submetidas a tratamento térmico adicional por calor seco, não apresentou diferença significativa sobre a técnica convencional de fotopolimerização de inlays. Kanca III (1989) concluiu que a temperatura do tratamento térmico adicional não promoveu aumento da dureza de superfície das resinas compostas fotoativadas, mas aumentou a taxa de polimerização da resina. O tratamento térmico adicional em autoclave não teve influência sobre as propriedades mecânicas das resinas estudadas (LISBOA; SAITO; CARDOSO, 2004).

Peutzfeldt e Asmussen (1991) avaliaram a resistência à flexão e módulo de elasticidade das resinas compostas Estilux e Brilliant, sendo que somente a primeira apresentou melhora significativa das propriedades mecânicas após o tratamento térmico.

Wendt Jr. e Leinfelder (1990) avaliaram, após um ano o desempenho clínico da resina Oclusin submetida a tratamento térmico (125°C por 7,5 minutos). Os autores não encontraram diferenças significativas entre o desgaste do grupo

controle e do grupo submetido a tratamento térmico adicional. Isso acontece porque as tensões originadas pela contração de polimerização que ficam concentradas ao redor da carga são liberadas gradualmente. Nas resinas tratadas com calor a liberação das tensões ocorre de forma rápida (DE GEE et al., 1990).

Na cimentação de inlays submetidos ao tratamento térmico adicional, Ruyter (1992), Roulet (1997) e Touati e Aidan (1997), afirmam que a resistência de união entre o cimento resinoso e inlays é diminuída devido ao grau de polimerização conseguido através do tratamento adicional, diminuindo a quantidade de duplas ligações necessárias para a união do cimento. Para que a cimentação seja eficiente, é necessário a asperização da superfície interna do inlay e a aplicação de agentes silanizadores.

2.4 Propriedades Mecânicas

2.4.1 resistência à flexão

A dificuldade encontrada na realização de uma pesquisa clínica aumenta a frequência dos testes em laboratório. Apesar de Leinfelder (1991) acreditar que testes de laboratório não devem ser usados para prever o comportamento clínico dos materiais, algumas tentativas tem sido feitas no sentido de correlacionar o teste de resistência à flexão com o desempenho clínico de resinas compostas.

Wendt Jr. e Leinfelder (1990), baseados em pesquisas de laboratório que afirmam que o tratamento secundário a calor seco pode aumentar significativamente as propriedades físicas de resinas compostas usadas para restaurações posteriores, investigaram o desempenho clínico de uma resina composta para inlay termopolimerizada, usando os métodos diretos e indiretos de avaliação clínica. Ao contrário de resultados de laboratório, nenhuma diferença significativa foi observada entre a convencional fotopolimerização de inlays e o tratamento secundário a calor seco.

Huysmans et al. (1996) avaliaram a influência da manipulação clínica na resistência à flexão de duas resinas compostas para dentes posteriores. Os resultados mostraram baixa correlação entre os corpos de prova preparados em laboratório e os preparados em simulação clínica. Neste estudo os autores concluíram que os dados de resistência à flexão numa situação clínica podem diferir significativamente dos resultados pré-afirmados de propriedades mecânicas medidas *in vitro*.

Segundo Bird et al. (1998) o teste de resistência à flexão pode ser usado para prever o desempenho clínico de uma resina composta. O teste consiste na aplicação de uma carga contínua sobre uma barra suportada por dois apoios até que ocorra a fratura do espécime. Este ensaio, também chamado de teste de dobramento em três pontos pode ser utilizado para avaliar mudanças feitas na composição das resinas compostas (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 1992c), ou no seu modo de polimerização (POLONIATO, 1998).

Durante o ensaio de flexão, observa-se a formação de tensões complexas de tração e compressão semelhantes àsquelas que podem determinar a fratura de uma restauração (BALLESTER, 1990). Nambu, Watanabe e Tani (1991)

acrescentam que o teste de resistência à flexão induz resultantes de compressão e tração no espécime. Devido ao comportamento físico da resina composta, a mesma é menos resistente às forças de tração que ocorrem na superfície oposta à aplicação da carga. Outros autores acreditam que o teste de dobramento em três pontos determina indiretamente a resistência à fratura de uma restauração em áreas de grande esforço mastigatório e em áreas de contato oclusal, como é o caso das cristas marginais (REINHARDT; BOYER; STEPHENS, 1994; MIARA, 1998; PRAZERES et al., 1998; WOODS, 1998).

Os parâmetros para realização do teste de resistência à flexão são fornecidos pela especificação 4049 da *International Organization for Standardization* (ISO), no entanto, poucos são os trabalhos que seguem passo a passo todas as normas ali descritas. Alguns autores adotam os padrões da ISO 4049 (1992) ao delinear a metodologia de ensaios de flexão, exceto no que diz respeito ao tamanho dos espécimes (ASMUSSEN, PEUTZFELDT, 1990; REINHARDT; BOYER; STEPHENS, 1994; MATSON, 2003; LISBOA; SAITO; CARDOSO, 2004; SANTANA et al., 2004). César, Miranda Jr. e Braga (2001) acreditam que tal fato acontece devido aos inconvenientes em se construir um espécime com 25mm de comprimento ou de realizar o teste com todos os dispositivos imersos em água a 37°C.

Para Ferracane e Mitchen (1994) a dificuldade na polimerização de espécimes extensos (25mm), com o diâmetro reduzido da fonte de luz (± 11 mm), pode influenciar nos resultados. O ideal seria que a fonte de luz cobrisse toda a extensão do espécime, proporcionando um padrão único de polimerização.

Corrêa (2000) estudou a resistência à flexão da resina composta Heliomolar RO tendo como um dos fatores de investigação a dimensão dos espécimes: comprimento x largura x altura (25x2x4mm, 25x2x2mm, 15x2x2mm,

10x2x2mm, 10x2x1mm). Concluiu que os comprimentos dos espécimes não influenciaram na resistência à flexão, e que este tipo de ensaio pode ser realizado com espécimes de dimensões menores, diminuindo o tempo e a quantidade de material empregado na execução do teste.

Yap e Teoh (2003) investigaram as propriedades de resistência à flexão de quatro resinas compostas usando o teste da ISO 4049 (IFT) e um teste mini-flexural (MFT). A diferença entre os dois testes está no comprimento dos espécimes: 25x2x2mm (IFT) e 12x2x2mm (MFT), e na distância entre os suportes: 20mm (IFT) e 10mm(MFT). O resultado da resistência à flexão foi idêntico para ambos. Os autores citam que o espécime fabricado nos padrões do MFT proporciona economia de tempo, de material e se aproxima da realidade clínica.

2.4.2 dureza Knoop

A avaliação de um material quanto à resistência à penetração refere-se ao grau de dureza de sua superfície. Entre as várias unidades de medida de dureza, pode-se usar dureza Knoop para avaliar a resistência à penetração das resinas compostas. Segundo orientações de Phillips (1998), durante a avaliação da resistência à penetração de uma resina composta, através do teste de dureza Knoop, o efeito da recuperação elástica, que ocorre após a remoção da ponta do durômetro, é minimizado, permanecendo praticamente inalterada a distância entre as extremidades do eixo maior de penetração, ocorrendo recuperação elástica apenas na extensão do eixo menor de penetração.

A dureza Knoop pode ser ainda utilizada como método indireto para avaliar o grau de polimerização de um material, devido à existência de uma correlação entre as medidas do grau de conversão realizadas com radiação infravermelha e as que são realizadas com o durômetro (FERRACANE, 1985; DEWALD; FERRACANE, 1987; HIRABAYASHI; HOOD; HIRASAWA, 1993). No entanto, em outros trabalhos os autores Ferracane (1985), Johnston, Leung e Fan (1985), Kanca III (1989) e DeWald e Ferracane (1987) acreditam que os valores de dureza não podem ser utilizados para comparar o grau de conversão de diferentes resinas porque os resultados dependem da natureza da matriz e do volume de carga do material. Porém, a dureza pode ser usada para detectar alterações que ocorram em uma mesma resina em função do armazenamento em soluções aquosas ou para avaliar diferentes modos de fotoativação (MANTE; SALEH; MANTE, 1993).

Leung, Adishian e Fan (1985) e Kanca III (1989) afirmam que uma resina composta, estando em ambiente seco ou imersa em água, tem sua dureza aumentada continuamente até sete dias após a sua ativação. Advertem ainda que o tempo entre a obtenção da restauração e a medida da dureza é bastante crítico pois, o maior aumento do grau de conversão acontece nos primeiros sessenta minutos.

O efeito da polimerização secundária por adição de calor na dureza de superfície de resinas compostas fotopolimerizáveis tem sido objeto de investigação de muitos autores. Wendt Jr. (1997) utilizou uma resina composta híbrida fotopolimerizável (Perfil TLC) e duas resinas compostas fotopolimerizáveis para restaurações posteriores (P-30 e Oclusin), com e sem aplicação de calor depois da fotopolimerização inicial. A dureza de superfície das amostras de resina composta foi obtida utilizando escala da dureza Rockwell 45 numa máquina de teste de dureza (Galileo Corp). O autor concluiu que a dureza de superfície pode ser aumentada

através da polimerização secundária com calor. A temperatura indicada para a otimização das propriedades físicas das resinas testadas foi em torno de 125°C. A melhoria das propriedades pode ser indicativa de interações da carga com a matriz promovida pelo aumento da temperatura.

Kandil et al. (1989) avaliaram as propriedades mecânicas de alguns compósitos dentais baseados em BisGMA, submetidos aos testes de resistência à compressão, tensão superficial e dureza. Estudaram o efeito da temperatura e do envelhecimento nestas propriedades. Os resultados mostraram um aumento nas propriedades mecânicas (força de compressão, resistência à tração diametral, módulo de elasticidade e dureza) em todas as resinas compostas investigadas com o aumento da temperatura e do tempo.

Wendt Jr. (1989) avaliou o tempo e o calor como fatores influentes na polimerização de resinas compostas. O autor concluiu que a dureza de superfície pode ser significativamente aumentada pela aplicação de calor a 125°C, e que não houve nenhuma significância estatística no tempo da aplicação de calor após a fotopolimerização.

Hirabayashi, Hood e Hirasawa (1993) verificaram a profundidade de polimerização de resinas compostas fotopolimerizáveis utilizadas em restaurações de cavidades. Classe II relativamente grandes, através da dureza Knoop medida em superfícies seccionadas de restaurações de resina. Na resina para restaurações inlay/onlay, o tratamento pós-cura melhorou o grau de conversão. Porém, o grau final de conversão da resina, atingido pelo aquecimento, foi influenciado pela conversão inicial da resina na fase de fotopolimerização.

Powers et al. (1993) avaliaram as propriedades mecânicas (resistência à tração diametral, força de compressão, módulo de compressão e recuperação

elástica, dureza de indentação superficial Knoop e Rockwell) medidas na resina composta (Herculite XRV) através de cinco condições diferentes de pós-polimerização. O método de polimerização adicional menos efetivo foi a água em ebulição. Os tratamentos térmicos adicionais melhoraram significativamente a resistência à tração diametral (24-39%), dureza de Knoop (8-22%) e recuperação superficial Rockwell (3-6%); diminuiu entalhe superficial Rockwell (0-19%), mas não afetaram significativamente a força de compressão.

Eldiwany, Powers e George (1993) avaliaram algumas propriedades mecânicas, entre elas a dureza de indentação Knoop, de sete resinas compostas medidas *in vitro* sob duas condições de polimerização (somente fotopolimerizável e fotopolimerizável mais tratamento adicional). Os resultados apontam que o tratamento adicional melhorou a dureza de indentação Knoop (7-46%).

Takeshige, Kinomoto e Torii (1995) avaliaram o efeito da aplicação de calor após a fotopolimerização em algumas propriedades físicas de uma resina composta para inlay. Submeteram os espécimes a um tratamento adicional com calor seco a várias temperaturas, após 15 minutos da fotopolimerização. Um grupo de espécimes não recebeu tratamento adicional sendo este, o grupo controle. Concluíram que houve melhora significativa do coeficiente de expansão térmica, da expansão higroscópica, da microdureza e da solubilidade em comparação ao grupo controle, enquanto a absorção de água não foi alterada significativamente pelo tratamento adicional. Os resultados indicaram que a resina composta, quando submetida ao tratamento térmico adicional após a polimerização inicial, apresentou propriedades físicas melhoradas e também menor absorção de água.

Mehl, Hickel e Kunzelmann (1997) avaliaram as propriedades físicas (módulo de flexão, resistência à flexão e microdureza Vickers) e a infiltração

marginal de restaurações de resinas compostas fotopolimerizáveis (Tetric, Vivadent; e Charisma, Heraeus Kulzer) com e sem temperatura inicial de polimerização. Os resultados mostraram que a condição de polimerização inicial com intensidade de luz diminuída, seguida por polimerização final com alta intensidade de luz, não tem nenhuma influência em microdureza, mas aumenta o módulo de flexão e a resistência à flexão.

Tanoue, Matsumura e Atsuta (1999) examinaram as propriedades de uma resina composta utilizada para faceta protética sob três sistemas de polimerização para avaliar os efeitos de modos variados de polimerização na dureza, solubilidade, e profundidade de polimerização. Os autores afirmaram que certas propriedades geradas com o uso da unidade de polimerização de alta intensidade excederam àqueles obtidos de um sistema que requer um tratamento térmico adicional.

Mandikos et al. (2001) compararam a resistência e dureza de resinas compostas de uso indireto. Concluíram que as diferenças em resistência ao desgaste, dureza, e aspereza média de superfície podem estar relacionadas à composição química ou ao método de polimerização das resinas.

Quance et al. (2001) estudaram o efeito da variação da temperatura de armazenamento de pós-polimerização (18 e 37°C) e a intensidade de luz (200 e 500mW/cm²), na microdureza resinas compostas fotopolimerizáveis. Foram registradas as durezas das superfícies (superior e inferior) dos espécimes. Os resultados mostraram que os valores de dureza variaram como tipo de resina, superfície, temperatura de armazenamento e intensidade de fotopolimerização. Em nenhum caso a dureza da superfície inferior foi igual a da superfície superior. Concluíram que a composição do material teve uma influência significativa na dureza de superfície. Apesar da ótima condição de armazenamento pós-polimerização, a

fotopolimerização com 200mW/cm^2 de intensidade de luz por 40s não produziu dureza de superfície em profundidade aceitável na maioria dos produtos testados, quando em incrementos maiores que 2mm.

Tanoue, Atsuta e Matsumura (2003) determinaram a dureza, solubilidade e profundidade de polimerização de uma nova resina composta polimerizada por três diferentes unidades fotopolimerizadoras, para uso em laboratório. O valor da dureza Knoop obtido com a unidade de metal halóide foi estatisticamente maior que os produzidos pelas outras duas unidades polimerizadoras.

Ersoy et al. (2004) avaliaram as propriedades físicas de algumas resinas compostas com o objetivo de determinar a resistência à flexão, modulo de flexão, profundidade de polimerização, contração de polimerização e microdureza das resinas compostas Filtek P-60, Solitaire 2, Riston AT, Charisma e Filtek Z-250. Os resultados de microdureza revelaram a seguinte tendência: Z-250 = P-60 > Riston = Solitaire = Charisma.

Lisboa, Saito e Cardoso (2004) verificaram a influência do tratamento térmico em autoclave sobre a resistência à flexão e dureza, de quatro resinas compostas de uso indireto. Os resultados mostraram que não houve influência do tratamento térmico em autoclave sobre as propriedades mecânicas estudadas.

Soares et al. (2005) estudaram a microdureza e resistência à tração diametral de duas resinas compostas híbridas (TPH Spectrum e Filtek P60) inicialmente submetidas à fotopolimerização convencional por 40 segundos, com posterior tratamento térmico em diferentes métodos. Compararam estes dados aos obtidos da resina indireta (Solidex) que foi confeccionada segundo instruções dos fabricantes. Concluíram que os métodos de polimerização adicional aumentaram a dureza Knoop e resistência à tração diametral das resinas compostas testadas. Em

geral, Filtek P60 mostrou dureza e resistência à tração diametral mais alta que a resina TPH Spectrum. A resina indireta mostrou propriedades mecânicas mais pobres que resinas compostas convencionais.

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo do presente estudo foi avaliar, através dos testes de resistência à flexão e de dureza Knoop, a possível otimização da polimerização de seis resinas compostas de uso direto (Fill Magic e Concept, Vigodent; Glacier; SDI; Z100; 3M ESPE; Masterfill; Biodinâmica; e W3D Master, Wilcos) variando-se a densidade de energia (a recomendada pelo fabricante, irradiada por uma face do corpo de prova; ou o dobro da mesma, irradiada por duas faces opostas do corpo de prova) e submetendo a dois tratamentos pós-cura (autoclave ou forno de luz). Como controle foram selecionadas duas resinas compostas de uso indireto (Belleglass HP, SDS Kerr; e Solidex, Shofu), polimerizadas de acordo com o processo recomendado pelos respectivos fabricantes.

A hipótese nula é que, independente dos recursos aplicados para otimizar a polimerização das resinas compostas de uso direto, as mesmas apresentem a mesma resistência à flexão e a mesma dureza Knoop quando polimerizadas de acordo com as recomendações dos respectivos fabricantes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Resinas Compostas

As resinas compostas utilizadas neste estudo estão enumeradas no quadro 4.1

RESINAS COMPOSTAS UTILIZADAS			
Resina Composta	Cor	Tamanho da partícula	Fabricante
Fill Magic	B2	Compósito micro-híbrido	Vigodent S/A Indústria e Comércio, Rio de Janeiro –RJ, Brasil
Concept	B2	Compósito submicro-híbrido	Vigodent S/A Indústria e Comércio, Rio de Janeiro –RJ, Brasil
Glacier	B2	Compósito híbrido	Southern Dental Industries- Austrália
Z - 100	B2	Compósito monomodal	3M do Brasil Ltda. Produtos Dentários, Sumaré-SP, Brasil
Master Fill	B2	Compósito micro-híbrido	Biodinâmica, Ibioporã-PR, Brasil
W 3D Master	2MI	Compósito micro-híbrido	Wilcos do Brasil, Indústria e Comércio Ltda., Petrópolis-RJ, Brasil.
Belleglass HP*	B2	Compósito micro-híbrido	Belleglass de St Claire –Kerr Orange, CA, USA.
Solidex*	B2	Compósito micro-híbrido	Shofu, Kyoto, Japão.
* Resina composta para uso indireto – controle			

Quadro 4.1 - Resinas compostas testadas

4.2 Sistemas de polimerização

Os aparelhos utilizados nos processos de polimerização deste estudo estão enumerados no quadro 4.2

SISTEMAS DE POLIMERIZAÇÃO			
Tipo	Intensidade	Modelo	Fabricante
Fotopolimerizador	600mW/cm ²	Optilux 401	Kerr Demetron, Orange, CA, EUA.
Autoclave	21 litros/1600 Watts	Vitale 21	Cristófoli Equipamentos de Biossegurança, Campo Mourão-PR, Brasil.
Forno de Calor e Nitrogênio	140°C/20min/80psi	HP Curing Unit	Belle de St Claire Orange, CA, USA.
Forno de Luz	600W	Solidilite	Shofu, Tóquio, Japão
Forno de Luz	1200mW/cm ²	Powerlux 4x1	EDG – Equipamentos e Controles Ltda., São Carlos-SP, Brasil.

Quadro 4.2 – Sistemas de polimerização

4.3 Materiais, instrumentais e equipamentos

Os materiais, instrumentais e equipamentos utilizados neste estudo foram: matriz de aço inoxidável bipartida, máquina universal de testes – Kratos, paquímetro digital, espátula de teflon nº 1, pinça clínica, tira de poliéster, placas de vidro, caneta Pilot, potes para armazenamento com tampa, água destilada.

4.4 Confeção dos espécimes

Foram confeccionados 60 espécimes de cada resina composta de uso direto no formato de barra, medindo 10mm de comprimento, 2mm de largura e 2mm de espessura (figura 4.1). Estes foram obtidos a partir de uma matriz bipartida feita em aço inoxidável (figura 4.2), no interior da qual foi inserida a resina composta.

Figura 4.1 – Dimensões do espécime para o ensaio de resistência à flexão

Figura 4.2 – Matriz bipartida para confecção dos espécimes

A obtenção dos espécimes de resina de uso direto obedeceu a seguinte sequência: sobre uma placa de vidro foi colocada uma tira de poliéster e sobre esta foi posicionada a matriz de aço com suas partes conectadas, formando o molde dos espécimes. Este molde foi preenchido com a resina composta de uso direto em uma

porção única, com auxílio de uma espátula da aço. Outra tira de poliéster foi posicionada sobre a matriz e sobre esta, uma outra lâmina de vidro foi usada com o objetivo de tornar plana e uniforme a superfície do espécime pela pressão digital imprimida sobre as lâminas, fazendo escoar possíveis excessos de resina composta. A resina contida entre as lâminas e a matriz foi então fotopolimerizada, seguindo o tempo indicado pelos respectivos fabricantes.

Em cada condição experimental a irradiação ocorreu sob dois níveis: trinta espécimes apenas por um lado e os outros trinta, pelos dois lados.

Depois de terminado cada ciclo de fotopolimerização, os espécimes foram identificados com tinta permanente através de caneta Pilot, da seguinte forma: para o grupo que recebeu irradiação em uma face, foram marcados os extremos da face irradiada, para o grupo que recebeu irradiação nas duas faces, foram marcados os dois extremos das duas faces. Logo em seguida, cuidadosamente a matriz foi aberta e a barra de resina removida. Os excessos foram eliminados com uma lâmina de bisturi nº11 e o acabamento realizado manualmente com uma lixa de papel de granulação 320.

Para o grupo controle, foram utilizadas as resinas de uso indireto Solidex (n=10) e Belleglass HP (n=10), onde o modo de obtenção dos espécimes obedeceu a seguinte sequência: o conjunto lâminas-matriz foi preso pelas extremidades com elástico e, depois da pré-cura com os fotopolimerizadores recomendados por cada fabricante, o processo de pós-cura foi realizado nas respectivas unidades polimerizadoras para cada resina. Os espécimes da resina composta Belleglass HP foram polimerizados no “HP Curing Unit” (ciclo de 20 minutos a 140°C, sob pressão de 80 libras). Já os espécimes da resina composta Solidex foram polimerizados no forno Solidilite (600W de luz halógena por um ciclo de 180s).

4.5 Tratamento adicional (pós-cura)

Nas resinas de uso direto, cada grupo de trinta foi subdividido em três grupos, onde dez espécimes não receberam tratamento adicional, dez receberam tratamento térmico adicional em autoclave e os outros dez, tratamento em forno de luz, conforme organograma abaixo (figura 4.3).

Figura 4.3 – Organograma de cada condição experimental

4.6 Teste de resistência à flexão

Finalizados todos os ciclos, 360 espécimes das seis resinas compostas de uso direto e 20 de uso indireto, estavam prontos para serem submetidos ao teste de resistência à flexão. Antes porém, as dimensões dos corpos-de-prova foram

aferidas com um paquímetro digital (Absolute Digimatic, Mitutoyo, Japão) e registradas em planilha apropriada (figura 4.4).

Teste de Resistência à Flexão					
Material: Fill Magic					
Condição experimental: Controle - 1 Face					
	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>C</i>	<i>L</i>	<i>R_f</i>
CP	Largura	Espessura	Carga	Distância	MPa
1	2,11	2,1	138,52	0,8	17,86
2	2,29	2,23	135,33	0,8	14,26
3	2,19	2,13	130,31	0,8	15,74
4	2,26	2,15	141,58	0,8	16,26
5	2,2	2,16	128,1	0,8	14,98
6	2,14	2,11	132,88	0,8	16,74
7	2,14	2,08	126,51	0,8	16,40
8	2,16	2,15	137,54	0,8	16,53
9	2,11	2,05	123,32	0,8	16,69
10	2,17	2,24	144,16	0,8	15,89
				?	161,34
				média	16,135

Figura 4.4 – Planilha utilizada para o teste de resistência à flexão (exemplo de uma condição experimental)

O teste de dobramento em três pontos foi realizado em uma máquina de ensaios universal (Kratos Dinamômetros, São Paulo, SP, Brasil) utilizando o dispositivo mostrado na figura 4.5, onde a distância entre os apoios foi de 8mm, e a velocidade de deslocamento da ponta ativa de 0,5mm/min (CORRÊA, 2000; ISO 4049).

Figura 4.5 - Detalhe do dispositivo para realização do teste de resistência à flexão

Durante o teste de resistência à flexão o computador acoplado à máquina de ensaios universal registrava o valor da carga alcançada no momento da fratura de cada espécime. Este valor juntamente com as dimensões do espécimes foram aplicados à fórmula a seguir (figura 4.6) para o cálculo da resistência à flexão (R_f) (ISO 4049).

R_f = resistência à flexão (MPa)
 C = carga máxima (N)
 L = distância entre os apoios (mm)
 b = largura do corpo de prova (mm)
 h = espessura do corpo-de-prova (mm)

$$R_f = \frac{3 \cdot C \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Figura 4.6 - Fórmula para o cálculo da resistência à flexão

4.7 Teste de dureza Knoop

Imediatamente após o teste de resistência à flexão, dez fragmentos obtidos de cada condição experimental foram colocados individualmente sobre uma base de resina composta quimicamente ativada (Adaptic – Dentsply Indústria e Comércio Ltda., Petrópolis-RJ, Brasil), onde o conjunto (fragmento e resina) entre lâminas de poliéster foi submetido à pressão de um planificador até a polimerização final da resina quimicamente ativada.

O conjunto (fragmento/resina) foi colocado sobre uma pequena porção de massa plástica e novamente planificado para fixação do fragmento na superfície do fragmento (figura 4.7).

Figura 4.7 – Ilustração da preparação da amostra de resina composta quimicamente ativada para o teste de dureza Knoop

Em cada amostra foram realizadas dez indentações para verificação da dureza Knoop no microdurômetro Durimet (Shimadzu HMV-2, Tóquio, Japão), utilizando o tempo de penetração de 30 segundos e carga de 100 gramas (figura 4.8)

Figura 4.8 – Indentação com o microdurômetro realizada na superfície de resina composta fotopolimerizada

Com os 10 valores obtidos em cada fragmento, foi calculada uma média, totalizando dez médias para cada situação experimental (figura 4.9).

Teste de Dureza Knoop												
Material: Fill Magic												
Condição experimental: Autoclave - 2 Faces												
	Indentações											
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	?	Médias
1	47	43	46	42	44	42	42	44	46	46	442	44,2
2	47	51	51	42	40	51	48	44	51	43	468	46,8
3	41	39	43	40	40	39	46	53	42	40	423	42,3
4	44	47	42	47	41	43	45	41	45	40	435	43,5
5	40	44	41	43	44	41	41	44	45	44	427	42,7
6	41	40	38	41	35	40	43	34	43	41	396	39,6
7	42	41	44	37	43	42	47	39	43	47	425	42,5
8	42	42	42	43	43	41	40	40	40	41	414	41,4
9	44	49	42	46	42	45	44	45	49	44	450	45
10	43	40	44	46	43	44	46	38	44	46	434	43,4

Figura 4.9 – Planilha utilizada para o teste de dureza Knoop (exemplo de uma condição experimental)

A análise estatística dos dados referentes a Resistência à Flexão e Dureza Knoop foi feita através da Análise de Variância e teste de Tukey (5%). O delineamento experimental foi o seguinte:

A) Análise estatística (ANOVA) de três fatores, para resistência à flexão e para dureza Knoop, considerando apenas as resinas compostas de uso direto:

- a) Fator Resina – 6 níveis
- b) Fator Face – 2 níveis
- c) Fator Tratamento – 3 níveis

Total: $6 \times 2 \times 3 = 36$ condições experimentais com 10 réplicas ($n=10$)

B) Análise estatística (ANOVA) de um fator, para a resistência à flexão e para dureza Knoop, considerando a melhor condição experimental de cada resina composta de uso direto obtido pela análise estatística do item A acima, e as duas resinas compostas de laboratório, seguindo as recomendações dos respectivos fabricantes:

- a) Fator Resina – 8 níveis

Total: 8 condições experimentais com 10 réplicas ($n=10$)

5 RESULTADOS

5.1 Teste de Resistência à Flexão

5.1.1 resinas compostas de uso direto

Os valores das médias e desvios padrão obtidos no teste de resistência à flexão estão disponíveis no Anexo A. A análise de variância (Tabela 5.1) mostrou diferenças estatísticas significativas para os fatores Resina ($p < 0,001$) e Tratamento ($p = 0,001$), não sendo verificada a mesma diferença para o fator Face ($p = 0,958$). A análise de variância também detectou a presença de interação significativa entre os fatores Resina e Tratamento ($p = 0,001$); não sendo observada significância para as outras interações (Resina e Face, $p = 0,448$; Face e Tratamento, $p = 0,127$; e Resina, Face e Tratamento, $p = 0,717$).

Tabela 5.1 – Resistência à Flexão - Análise de variância para as resinas compostas de uso direto

Fatores e Interações	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F.	Sig. p
Resina	5	884,895	176,993	51,902	0,00
Face	1	0,009	0,009	0,002	0,9583
Tratamento	2	241,134	120,579	35,359	0,00
Resina x Face	5	15,178	3,029	0,883	0,4890
Resina x Tratamento	10	358,777	35,886	10,523	0,00
Face x Tratamento	2	14,177	7,089	2,078	0,1267
Resina x Face x Tratamento	10	24,135	2,412	0,727	0,7175

Tabela 5.2 – Resistência à Flexão – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Resina

Resistência à Flexão (MPa)	
Resina	Média ± Desvio Padrão
Fillmagic	15,23 ± 1,45 ^a
Concept	12,04 ± 1,25 ^c
Glacier	13,24 ± 2,12 ^b
Z 100	15,53 ± 3,27 ^a
Master Fill	12,60 ± 2,74 ^{bc}
W3D	16,15 ± 1,85 ^a

5.1.1.1 fator resina

As médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%), descrito na Tabela 5.2 demonstra que as médias de resistência à Flexão das resinas compostas W3D Master, Z 100 e Fillmagic, foram semelhantes entre si, e superiores aos demais materiais. As resinas compostas Glacier e Master Fill foram semelhantes entre si, sendo que a Master Fill mostrou-se também estatisticamente similar à Concept.

Gráfico 5.1 – Resistência à Flexão – Médias, desvios padrão da interação Resina x Tratamento

5.1.1.2 fator tratamento

Através da análise das médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) contidos na Tabela 5.3 observa-se que o tratamento pós-cura em autoclave apresentou-se superior ao tratamento em forno de luz e ao controle. O tratamento em Forno de Luz foi semelhante ao grupo Controle.

Tabela 5.3 – Resistência à Flexão – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Tratamento

Resistência à Flexão (MPa)	
Tratamento	Média ± Desvio Padrão
Controle	13,74 ± 2,75 ^b
Autoclave	15,27 ± 2,86 ^a
Forno de Luz	13,38 ± 2,71 ^b

5.1.1.3 interação resina x tratamento

As médias, desvios padrão e Teste de Tukey (5%) para a interação resina x tratamento estão na Tabela 5.4 e nos Gráfico 5.1 e 5.2, que permitem as seguintes observações:

a) Em relação ao grupo Controle, nenhum tratamento pós-cura (Autoclave e Forno de Luz) influenciou significativamente a resistência à Flexão das resinas Fillmagic, Concept e W3D Master.

b) Para a resina composta Glacier, o tratamento térmico em Autoclave promoveu aumento significativo da resistência à Flexão. O tratamento em Forno de Luz mostrou comportamento estatístico igual ao do grupo Controle.

c) Quanto à resina composta Z 100, a resistência à Flexão não foi influenciada pelo tratamento em Autoclave. Entretanto, o grupo tratado em Forno de Luz apresentou média de resistência à Flexão inferior ao Controle.

d) Para a resina composta Master Fill, os tratamentos pós-cura, Autoclave e Forno de Luz, apresentaram médias de resistência à flexão iguais, e superiores à do grupo controle.

Tabela 5.4 – Resistência à Flexão – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Tratamento

Resistência à Flexão (MPa)						
Resinas	Tratamento					
	Controle		Autoclave		Forno de Luz	
(1)Fillmagic	1	15,78 ± 1,31 ^{DEF}	2	15,49 ± 1,50 ^{DE}	3	14,42 ± 1,22 ^{CD}
(2)Concept	4	12,81 ± 1,04 ^{BC}	5	11,49 ± 1,35 ^{AB}	6	11,84 ± 0,98 ^{AB}
(3)Glacier	7	11,77 ± 2,12 ^{AB}	8	15,03 ± 1,37 ^D	9	12,91 ± 1,34 ^{BC}
(4)Z100	10	15,95 ± 1,75 ^{DEF}	11	17,70 ± 3,52 ^F	12	12,99 ± 2,40 ^{BC}
(5)Master Fill	13	10,39 ± 1,77 ^A	14	14,69 ± 2,31 ^{CD}	15	12,73 ± 2,26 ^{BC}
(6)W3D	16	15,75 ± 1,79 ^{DEF}	17	17,24 ± 1,37 ^{EF}	18	15,48 ± 1,90 ^{DE}

Gráfico 5.2 - Resistência à Flexão –Médias e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Tratamento (média e distribuição por grupo)

5.1.2 resinas de uso direto x resina de uso indireto

Para este teste foi considerado o tratamento que obteve a maior média de cada resina composta de uso direto, independente da condição experimental, e as médias das resinas compostas de uso indireto.

A análise de variância (Tabela 5.5) mostrou diferenças estatísticas significativas para os fator Resina ($p < 0,001$).

Tabela 5.5 - Resistência à Flexão – Análise de Variância considerando as médias das melhores condições experimentais das resinas de uso direto e das resinas de laboratório

Fator	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F.	Sig. p
Resina	7	541,133	77,305	16,931	0,00
Subtotal	72	328,740	4,566		
Total	79	869,873			

As médias, os desvios padrão e o teste de Tukey apresentados na Tabela 5.6 e no Gráfico 5.3, mostraram que:

- a) A resina Z100 teve comportamento semelhante às resinas W3D, Fillmagic e Glacier, porém superior às resinas Master Fill, BelleGlass HP, Concept e Solidex;
- b) As resinas W3D e Fillmagic tiveram comportamento semelhante às resinas Z100, Glacier, Master Fill e BelleGlass HP e superior às resinas Concept e Solidex;
- c) A resina Glacier se igualou a todas as resinas, sendo superior apenas à resina Solidex;

d) Foi observado semelhança estatística na resistência à flexão das resinas Fillmagic, Concept, Glacier, Master Fill, BelleGlass HP, e Concept, as quais apresentaram comportamento superior à resina composta indireta Solidex;

e) A resina composta de laboratório BelleGlass HP apresentou resistência à flexão inferior à resina composta Z100, igual às resinas W3D, Fillmagic, Glacier e Master Fill e superior às resinas Concept e Solidex;

f) O compósito Concept foi similar às resinas compostas Glacier, Master Fill, e BelleGlass HP; e superior à Solidex;

g) A resina composta de laboratório Solidex foi inferior a todas as outras resinas compostas testadas.

Tabela 5.6 – Resistência à Flexão – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório

Resistência à Flexão (MPa)	
Resina Composta	Média ± Desvio Padrão
Fill Magic	16,13 ± 0,99 ^{ab}
Concept	13,10 ± 1,11 ^c
Glacier	15,65 ± 1,03 ^{abc}
Z 100	18,25 ± 4,69 ^a
Master Fill	14,98 ± 2,09 ^{bc}
W3D Master	17,45 ± 1,61 ^{ab}
Solidex	9,32 ± 0,46 ^d
Belleglass HP	14,96 ± 2,01 ^{bc}

Gráfico 5.3 – Resistência à Flexão – Médias e teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas de uso direto e das resinas de laboratório

5.2 Teste de Dureza Knoop

5.2.1 resinas de uso direto

Os valores das médias e desvios padrão obtidos no teste dureza Knoop estão disponíveis no Anexo B. A análise de variância do teste de Dureza Knoop (Tabela 5.7) mostrou que todos fatores Resina ($p = 0,001$); Face ($p = 0,001$) e Tratamento ($p = 0,017$) apresentaram diferenças estatísticas significativas, bem

como suas interações: Resina x Face ($p = 0,001$); Resina x Tratamento ($p = 0,007$); Face x Tratamento ($p = 0,001$) e Resina x Face x Tratamento ($p = 0,024$).

Tabela 5.7 – Dureza Knoop - Análise de variância para as resinas compostas de uso direto

Fatores e Interações	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F.	Sig. p
Resina	5	92069,627	18413,93	2296,11	0,000*
Face	1	376,58	376,59	46,958	0,000*
Tratamento	2	66,107	33,05	4,122	0,017*
Resina x Face	5	374,224	74,84	9,333	0,000*
Resina x Tratamento	10	197,679	19,77	2,465	0,007*
Face x Tratamento	2	278,407	139,20	17,358	0,000*
Resina x Face x Tratamento	10	168,827	16,88	2,105	0,024*

5.2.1.1 fator resina

As médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Resina, apresentado na tabela 5.8 mostra que:

a) A média de dureza Knoop da resina Z 100 foi estatisticamente superior a todas as outras resinas compostas de uso direto testadas.

b) As resinas Fillmagic e W3D tiveram médias de dureza Knoop semelhantes e foram superiores às das resinas compostas Glacier, Master Fill e Concept.

c) Os menores valores da dureza Knoop foram evidenciados nas resinas Glacier, Master Fill e Concept os quais foram estatisticamente semelhantes entre si.

Tabela 5.8 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Resina

Dureza Knoop (Hk)	
Resina	Média ± Desvio Padrão
Fill Magic	42,70 ± 4,82 ^b
Concept	37,12 ± 3,16 ^c
Glacier	37,25 ± 2,53 ^c
Z 100	81,71 ± 4,44 ^a
Master Fill	37,16 ± 2,64 ^c
W3D Master	42,08 ± 1,56 ^b

5.2.1.2 fator face

A análise de variância para o fator Face mostrou que a incidência de irradiação de luz nas duas faces, ou o dobro da densidade de energia irradiada, do espécime, apresentou valores de dureza Knoop superiores à irradiação em apenas uma face (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 – Dureza Knoop - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Face

Dureza Knoop (Hk)	
Face	Média ± Desvio Padrão
1 Face	45,32 ± 15,68 ^b
2 Faces	47,36 ± 16,99 ^a

5.2.1.3 fator tratamento

As médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Tratamento, apresentado na tabela 5.10 mostrou que:

- a) Em geral o valor do tratamento pós-cura em Forno de Luz foi superior ao controle e semelhante ao tratamento em Autoclave;
- b) O tratamento em Autoclave foi semelhante ao grupo Controle e ao Forno de Luz.

Tabela 5.10 – Dureza Knoop - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para o fator Tratamento

Dureza Knoop (Hk)	
Tratamento	Média ± Desvio Padrão
Controle	45,92 ± 15,97 ^b
Autoclave	46,17 ± 16,71 ^{ab}
Forno de Luz	46,93 ± 16,52 ^a

5.2.1.4 interação resina x face

As médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Face, apresentado na tabela 5.11, mostrou que:

a) A resina composta Z100 apresentou a maior média, mas quando irradiada nas duas faces, ou melhor, com o dobro da densidade de energia, apresentou melhora significativa.

b) A resina composta Fillmagic apresentou média logo abaixo do compósito Z100, mas quando submetido à irradiação por duas faces, apresentou melhora significativa

c) As resinas compostas Concept, Glacier, Máster Fill e W3D Máster não mostraram alterações significativas quando irradiados os corpos de prova por uma ou duas faces.

Tabela 5.11 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Face

Dureza Knoop (Hk)			
Resinas	Faces		
	1 Face		2 Faces
Fillmagic	¹ 40,40 ± 4,77 ^e	² 45,01 ± 3,68 ^c	
Concept	³ 37,55 ± 2,77 ^f	⁴ 36,69 ± 3,49 ^f	
Glacier	⁵ 36,62 ± 2,72 ^f	⁶ 37,88 ± 2,20 ^f	
Z100	⁷ 79,294 ± 3,93 ^b	⁸ 84,13 ± 3,55 ^a	
Master Fill	⁹ 36,68 ± 3,03 ^f	¹⁰ 37,64 ± 2,13 ^f	
W3D	¹¹ 41,35 ± 1,59 ^{de}	¹² 42,81 ± 1,15 ^{cd}	

5.2.1.5 interação resina x tratamento

As médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina X Tratamento, apresentado na tabela 5.12 mostrou que:

a) A resina composta Master Fill, quando tratada em autoclave, pode se comparar a Fillmagic e a W3D Master;

b) Quando o fator Tratamento foi avaliado de forma genérica (tabela 5.10), o tratamento com forno de luz mostrou-se superior ao grupo controle, mas a interação Resina x Tratamento não mostrou melhoras significativas das médias de dureza Knoop deste forno, nem da autoclave em comparação com os controles para cada resina composta testada.

Tabela 5.12 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina X Tratamento

Dureza Knoop (Hk)					
Resinas	Tratamento				
	Controle		Autoclave		Forno de Luz
Fillmagic	1	42,90 ± 6,32 ^b	2	41,42 ± 4,25 ^{bc}	3 43,79 ± 3,35 ^b
Concept	4	37,67 ± 3,40 ^d	5	36,46 ± 3,17 ^d	6 37,22 ± 2,93 ^d
Glacier	7	36,97 ± 2,98 ^d	8	36,88 ± 1,72 ^d	9 37,89 ± 2,72 ^d
Z100	10	79,92 ± 4,73 ^a	11	82,45 ± 4,44 ^a	12 82,76 ± 3,76 ^a
Master Fill	13	35,81 ± 2,62 ^d	14	38,38 ± 3,05 ^{cd}	15 37,29 ± 1,42 ^d
W3D	16	42,23 ± 2,05 ^b	17	41,39 ± 1,26 ^{bc}	18 42,61 ± 0,98 ^b

5.2.1.6 interação face x tratamento

As médias, desvios padrão e o teste de Tukey (5%) para a interação Face x Tratamento, apresentados na tabela 5.13, mostrou que:

a) Em geral, quando os corpos de prova foram irradiados com o dobro da densidade de energia, irradiação nas duas faces opostas, não há a necessidade de se fazer qualquer tratamento pós-cura.

b) Quando é feita a irradiação apenas por uma face há a necessidade de se utilizar um tratamento pós-cura, seja a autoclave, ou o forno de luz, pois ambos mostraram melhoras significativas com relação ao grupo controle irradiado por uma face.

c) Os compósitos irradiados por duas faces, mas sem tratamento pós-cura apresentaram melhor média de dureza Knoop que qualquer grupo irradiado apenas por uma face.

Tabela 5.13 – Dureza Knoop - Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Face X Tratamento

Dureza Knoop (Hk)				
Faces	Tratamento			
	Controle	Autoclave	Forno de Luz	
1 Face	¹ 43,65 ± 15,19 ^d	² 45,73 ± 16,28 ^c	³	46,56 ± 15,68 ^{bc}
2 Faces	⁴ 48,19 ± 16,53 ^a	⁵ 46,60 ± 17,25 ^{bc}	⁶	47,29 ± 17,44 ^{ab}

5.2.1.7 interação resina x face x tratamento

As médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina X Face X Tratamento, presentes na tabela 5.14 mostrou que:

a) A resina composta Fillmagic, quando irradiada com o dobro da densidade de energia, irradiada pelas duas faces, não há a necessidade de qualquer tratamento pós-cura;

b) Para as resinas compostas Concept, Glacier, Master Fill e W3D Master não há qualquer tratamento pós-cura que proporcione qualquer melhora significativa para a dureza Knoop;

c) Para a resina composta Z100, se irradiada por uma face, é melhor submetê-la a um tratamento pós-cura, mas se irradiada pelas duas faces, não há necessidade de qualquer tratamento pós-cura;

Tabela 5.14 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Face x Tratamento

Dureza Knoop (Hk)							
Resina	Face	Tratamento					
		Controle		Autoclave		Forno de Luz	
Fillmagic	1	1	38,81 ± 4,83 ^{fghijkl}	2	39,7 ± 5,26 ^{efghijk}	3	42,68 ± 3,63 ^{cdefg}
	2	4	46,99 ± 4,88 ^c	5	43,14 ± 1,97 ^{cdef}	6	44,90 ± 2,78 ^{cd}
Concept	1	7	35,58 ± 2,52 ^{kl}	8	38,09 ± 2,70 ^{ghijkl}	9	38,98 ± 2,07 ^{fghijkl}
	2	10	39,77 ± 2,88 ^{efghijk}	11	34,83 ± 2,83 ^l	12	35,46 ± 2,63 ^{kl}
Glacier	1	13	36,27 ± 3,63 ^{ijkl}	14	37,21 ± 2,08 ^{jkl}	15	36,62 ± 2,72 ^{jkl}
	2	16	37,68 ± 2,11 ^{ijkl}	17	36,56 ± 1,30 ^{jkl}	18	39,4 ± 2,21 ^{efghijk}
Z100	1	19	76,34 ± 2,93 ^b	20	80,95 ± 4,84 ^{ab}	21	80,60 ± 1,78 ^{ab}
	2	22	83,51 ± 3,17 ^a	23	83,96 ± 3,63 ^a	24	84,92 ± 4,04 ^a
Master Fill	1	25	34,35 ± 2,49 ^l	26	37,85 ± 3,51 ^{hijkl}	27	37,84 ± 1,41 ^{hijkl}
	2	28	37,28 ± 1,87 ^{jkl}	29	38,92 ± 2,59 ^{fghijkl}	30	36,74 ± 1,27 ^{jkl}
W3D	1	31	40,58 ± 1,45 ^{defghij}	32	40,59 ± 1,16 ^{defghij}	33	42,87 ± 0,90 ^{cdef}
	2	34	43,89 ± 0,83 ^{cde}	35	42,20 ± 0,75 ^{cdefghi}	36	42,35 ± 1,03 ^{cdefghi}

Gráfico 5.4 – Dureza Knoop – Médias e teste de Tukey (5%) para a interação Resina x Face x Tratamento

5.2.2 resinas de uso direto x resina de uso indireto

Para este teste foi considerado o tratamento que obteve a maior média de cada resina composta de uso direto, independente da condição experimental, e as médias das resinas compostas de uso indireto.

A análise de variância (Tabela 5.15) mostrou diferenças estatísticas significativas para os fator Resina ($p < 0,001$).

Tabela 5.15 – Dureza Knoop - Média das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório

Fator	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F.	Sig. p
Resina	7	18968,760	2709,823	299,639	0,00
Subtotal	72	651,140	9,044		
Total	79	19619,900			

As médias, os desvios padrão e o teste de Tukey apresentados na Tabela 5.16 e no Gráfico 5.5, mostraram que:

- a) O maior valor de dureza foi apresentado pela resina composta Z 100 sendo ainda superior às demais;
- b) O valor de dureza da resina Belleglass HP foi inferior somente à resina composta Z 100;
- c) Não houve diferença significativa entre os valores de dureza das resinas compostas Fillmagic e W3D;
- d) O valor de dureza da resina composta W3D também foi semelhante estatisticamente à resina Concept;

e) As resinas compostas Concept, Glacier, Master Fill e Solidex

apresentaram os menores valores de dureza, estatisticamente semelhantes entre si;

Tabela 5.16 – Dureza Knoop – Médias, desvios padrão e teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório

Dureza Knoop	
Resina Composta	Média ± Desvio Padrão
Fill Magic	47,0 ± 4,9 ^c
Concept	39,8 ± 2,9 ^{de}
Glacier	39,4 ± 2,2 ^e
Z 100	84,9 ± 4,0 ^a
Master Fill	38,9 ± 2,6 ^e
W3D Master	43,9 ± 0,8 ^{cd}
Solidex	36,6 ± 2,3 ^e
Belleglass HP	60,9 ± 2,5 ^b

Gráfico 5.5 – Dureza Knoop – Médias e teste de Tukey (5%) das melhores condições experimentais das resinas compostas de uso direto e das resinas compostas de laboratório

DISCUSSÃO

6.1 Resistência à Flexão

O teste de resistência à flexão, considerado de fundamental importância no estudo do comportamento mecânico das resinas compostas, segundo Bird et al.(1998) pode ser usado para prever o desempenho clínico de uma resina composta. Sua analogia *in vivo* se traduz como sendo a capacidade que tem uma resina composta em resistir aos esforços mastigatórios, isso porque durante o teste *in vitro* ocorrem tensões de tração e compressão, semelhantes àsquelas que podem determinar a fratura de uma restauração (BALLESTER, 1990; NAMBU; WATANABE; TANI, 1991). Desta forma, autores como Reinhardt, Boyer e Stephens (1994), Miara (1998), Prazeres et al. (1998) e Woods (1998) acreditam que indiretamente o ensaio de resistência à flexão determina a resistência à fratura de uma restauração em áreas de grandes esforços mastigatórios. Para os autores Peutzfeldt e Asmussen (1992c) este ensaio pode ser utilizado na avaliação de mudanças feitas na composição das resinas compostas, ou ainda, para avaliar mudanças no seu modo de polimerização (POLONIATO, 1998).

O armazenamento dos espécimes em água destilada nas primeiras horas após a polimerização de uma resina composta pode afetar as propriedades mecânicas da mesma devido à hidrólise da interface carga-matriz. (NAMBU; WATANABE; TANI, 1991). Segundo Ferracane e Condor (1992), até seis meses de armazenamento, as resinas perdem suas propriedades mecânicas na presença de água. Para controlar esta possível variável foi previamente executado um teste piloto

onde se avaliou a resistência à flexão e a dureza Knoop, sob influência do armazenamento ou não, dos espécimes em água destilada a 37°C por 7 dias. Os resultados mostraram que não houve diferença estatística entre as duas condições, de forma que se optou pelo não armazenamento dos espécimes em água.

A *International Organization for Standardization* (ISO) através da norma 4049, estabeleceu parâmetros para o ensaio de resistência à flexão de compósitos, utilizando espécimes com dimensões (25mm de comprimento x 2mm de largura x 2mm de altura) e distância, entre os apoios (20mm), bem definidas. No entanto, no que diz respeito às dimensões dos espécimes, observou-se que na literatura muitos trabalhos não seguem esses padrões (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1990; REINHARDT; BOYER; STEPHENS, 1994; MATSON, 2003; LISBOA; SAITO; CARDOSO, 2004; SANTANA et al., 2004). Alguns autores argumentam que a polimerização de espécimes extensos (25mm) com o diâmetro reduzido da fonte de luz (± 11 mm) pode interferir nos resultados (FERRACANE; MITCHEN, 1994; CÉSAR; MIRANDA JR.; BRAGA, 2001). Segundo a norma 4049 da ISO, o cálculo da resistência à flexão está baseado nas dimensões do espécime. Conforme se diminui o comprimento, a distância entre os apoios também diminui, aumentando a carga de ruptura (Corrêa, 2000). No entanto, como o aumento da carga é proporcional ao tamanho do espécime, o resultado da resistência à flexão não é alterado. Baseado em trabalhos de Corrêa (2000), e Yap e Teoh (2003), ao garantirem que espécimes com dimensões menores podem ser utilizados com segurança, com a vantagem da redução do tempo e da quantidade de material empregado, sem influenciar nos resultados de resistência à flexão, optou-se em trabalhar com espécimes nas dimensões de 10x2x2mm, e distância de 6 mm entre os apoios.

Os resultados deste estudo mostram que a resistência à flexão, bem como a dureza, foram diferentes entre os materiais estudados. Possivelmente as diferenças encontradas na composição química da matriz, concentração de inibidores e fotoiniciadores constituição e proporção das cargas das diversas resinas compostas estudadas podem ter sido fatores de influência como reporta Ferracane e Greener (1986), Asmussen e Peutzfeldt (1990), Falco (1990), Li et al. (1985), McCabe (1984) e Peutzfeldt (1997). Chung (1990); Chung e Greener (1990); Nambu, Watanabe e Tani (1991); e Peutzfeldt e Asmussen (2000) ressaltam que a composição das resinas compostas, principalmente a concentração e tamanho das cargas, interferem nos resultados de resistência à flexão. As resinas compostas Fillmagic, Z100, W3D Master, independente do tratamento pós-cura apresentaram as maiores médias de resistência à flexão. Especificamente a Z100, por ter muitos anos de mercado, apresenta na literatura recente resultados expressivos de resistência à flexão (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2000; YAP et al, 2002). As resinas compostas Fillmagic e W3D Master, por serem microhíbridas, apresentam, segundo seus fabricantes alta concentração de cargas de variados tamanhos, o que pode ter influenciado os bons resultados de resistência à flexão.

Os resultados de resistência à flexão deste estudo mostraram que o fator face, ou densidade de energia, não foi significativo. Provavelmente a intensidade e o tempo de aplicação da luz, associados à espessura do espécime (2 mm) tenham permitido atingir um grau de conversão alto na polimerização inicial (RUEGGERBERG; CAUGHMAN; CURTIS JR., 1994). Tal fato é reforçado pelos achados de Park e Lee (1996) ao afirmarem que o grau de conversão é mais significativo nas camadas mais distantes da fonte de luz, isso porque nas camadas mais próximas é conseguido um alto grau de conversão com a polimerização inicial.

Estudos onde se avaliou a profundidade de polimerização das resinas compostas afirmam que 2 mm seria a espessura ideal para se conseguir uma polimerização clinicamente satisfatória, com um aparelho com intensidade de pelo menos 400mW/cm^2 (RUEGGERBERG; CAUGHMAN; CURTIS Jr, 1994;. YOON et al. 2002) o que vem corroborar com os resultados do presente estudo. A espessura do espécime de 2 mm não foi demasiadamente grande, e a cor B2, uma cor clara, permitiu uma fotopolimerização homogênea dos espécimes.

O fator tratamento foi significativo, sendo o tratamento com a autoclave superior ao tratamento com o forno de luz. Porém, o mais importante é que a interação resina x tratamento foi significativa, o que implica dizer que um determinado tratamento foi melhor para um compósito que para outro. As resinas Fillmagic, Concept e W3D Master não apresentaram melhora com nenhum tipo de tratamento e a resina Z100 teve uma sensível piora com o tratamento com o forno de luz, concordando com a opinião dos autores Wendt Jr. e Leifelder (1990) ao afirmarem que o tratamento térmico não necessariamente resulta em melhora das propriedades mecânicas das resinas compostas. A diminuição da resistência à flexão da resina composta Z100, quando submetida ao tratamento em forno de luz, pode ter sido causa de um aumento expressivo no grau de conversão, tornando a resina mais friável. Os resultados de Santana et al. (2004) mostraram uma melhora significativa da resistência à flexão para a resina composta Fillmagic com o tratamento térmico (150°C por 30 minutos), fato este que não foi confirmado pelo presente estudo. Provavelmente a temperatura de transição vítrea da resina composta Fillmagic seja superior à temperatura de processamento da autoclave, o que não permitiu melhoras significativas no seu grau de polimerização. Já o compósito Master Fill apresentou melhora com os dois tratamentos (autoclave e

forno de luz) e a resina Glacier mostrou sensível melhora com o uso da autoclave. Uma possível explicação para tal fato pode ser um aumento de ligações cruzadas com o tratamento térmico, como relatam Cook e Johannson (1987) e Peutzfeldt e Asmussen (1992c). Os estudos de Park (1996) parecem justificar os achados do presente estudo. Ele afirma que cada resina composta apresenta uma determinada temperatura ou tratamento para ter suas propriedades otimizadas. Assim, os métodos utilizados neste estudo foram eficientes para algumas resinas compostas testadas, mas não para outras. Provavelmente outros métodos possam ser desenvolvidos com eficiência para otimizar as outras resinas compostas. Para tal seria interessante avaliar melhor a composição de cada uma, bem como a sua temperatura de transição vítrea.

Para validar o uso destas resinas compostas, a melhor condição experimental apresentada por cada compósito foi selecionada e comparada às duas resinas compostas de laboratório, bem estabelecidas no mercado odontológico. Os resultados mostram que o maior valor de resistência à flexão foi apresentado pela resina Z100, que teve comportamento estatístico semelhante às resinas W3D Master, Fillmagic e Glacier. A resina Z100 apresentou média superior às resinas Master Fill, Belleglass HP, Concept e Solidex. Assim, a resina composta Z100, mesmo não tendo sua resistência à flexão otimizada por nenhum método avaliado neste estudo, mostrou-se superior a ambas as resinas compostas de laboratório. Teoricamente o esperado é que resinas com sistema de fotoativação especial tivesse melhor desempenho do que esta, fotoativada de forma convencional. O melhor desempenho da resina Z100 deve estar relacionado à sua composição (71% volume de carga). Dois estudos recentes (ROSENTRITT et al., 2004; WIGREN; ZAPPINI, 2004) corroboram com os resultados do presente estudo, uma vez que

mostram a deficiência da resina composta Solidex, e o bom desempenho da Belleglass HP. César; Miranda Jr. e Braga (2001) já haviam confirmado a deficiência da fotopolimerização isolada, sem estar associada ao qualquer outro método de otimização da polimerização, seja com calor, ou em atmosfera inerte, como o sistema Belleglass HP, que utiliza nitrogênio. Resinas indiretas que usam apenas luz como sistema de polimerização, caso do Solidex, apresentam grau e conversão inferiores aos demais compósitos de laboratório. A luz fornece a energia necessária para a ativação das moléculas, que se ligam umas as outras formando a cadeia polimérica. Entretanto, na polimerização de uma resina composta apenas por luz visível, conforme a reação vai se propagando, as cadeias ficam menos ativas devido ao aumento da sua massa. Ao final a energia fornecida pela luz não é mais suficiente para que novas moléculas sejam incorporadas na rede de polímeros, resultando na presença de monômeros residuais e/ou radicais livres desativados no material (COVINGTON; McBRIDE, 1990).

O teste de dureza, resistência à penetração, é um indicativo da facilidade de polimento de um compósito, bem como é um indicativo da resistência ao desgaste deste compósito em função mastigatória.

No teste de dureza Knoop, observou-se que todos os fatores e interações estudados mostraram significância estatística, o que está de acordo com os achados de Kandil et al. (1989); Eldiwany, Powers e George (1993); Wendt Jr. (1997); Wendt Jr. (1999) que afirmaram que o tratamento térmico, bem como uma fotopolimerização mais prolongada podem melhorar a dureza dos compósitos. Os compósitos apresentaram comportamentos totalmente diferentes, o que é justificado pela grande variação em composição, como citado anteriormente. O melhor resultado de dureza foi da resina composta Z100, o que já era esperado pela sua

alta concentração de carga. O tratamento com o dobro da densidade de energia melhorou os resultados de dureza dos compósitos Fillmagic, Z100, o que mostra que, fora a composição da parte inorgânica, havia ainda a possibilidade de melhorar as interações entre as moléculas orgânicas. A interação face x tratamento deixa muito clara que, para os compósitos estudados, a irradiação por maior tempo com luz proporcionou melhor desempenho de dureza que o tratamento térmico em autoclave. Na comparação também adotamos a melhor condição experimental apresentada por cada resina direta, comparada às duas resinas de indiretas (Solidex e Belleglass). A influência do fator face é comprovada na seqüência, Z100 (2 faces - Forno), Fillmagic (2 face - Controle), W3D (2 faces – Controle), Concept (2 faces - Controle), Glacier (2 faces - Forno) Master Fill (2 faces – Autoclave), onde o melhor desempenho de dureza foi observado com a irradiação em duas faces para todas as resinas. Este resultado comprova afirmações de Park e Lee (1996) onde nas camadas mais próximas à fonte de luz é conseguido um alto grau de conversão com a polimerização inicial que no caso é a superfície aferida pelo teste de dureza Knoop.

A dureza também foi influenciada pelo fator tratamento segundo Park (1996) acredita que o desempenho clínico de uma resina composta submetida à tratamento térmico adicional, pode ser diferente dependendo do material. As diferenças em resistência ao desgaste, dureza, e aspereza média de superfície, podem estar relacionadas à composição química ou ao método de polimerização das resinas (MANDIKOS et al., 2001). Independente do tipo de tratamento térmico a resina Z100, apresentou os mais altos valores de dureza Knoop.

O fator resina também foi significativo para o teste de Dureza Knoop e novamente desponta com melhor valor de médias, a resina Z100 ($84,9 \pm 4,4$) sendo

superior a todas outras resinas testadas, a saber: Belleglass ($60,9 \pm 2,5$), Fillmagic ($47,0 \pm 4,9$), W3D ($43,9 \pm 0,8$), Concept ($38,8 \pm 2,9$), Glacier ($39,4 \pm 4,0$) Master Fill ($38,9 \pm 2,6$), Solidex ($36,5 \pm 2,3$). A resina Belleglass só foi inferior a resina Z100.

Para validar o uso destas resinas compostas, a melhor condição experimental apresentada por cada compósito foi selecionada e também comparada às duas resinas compostas de laboratório, como adotado para a resistência à flexão. Os resultados mostram que o maior valor de dureza Knoop foi apresentado pela resina Z100, seguida da resina de laboratório Belleglass HP, da Fillmagic e W3D Master. Assim, a resina composta Z100 somente sendo tratada com o dobro da densidade de energia sugerida pelo fabricante, sem adotar nenhum tratamento pós-cura, apresentou-se superior às duas resinas de laboratório avaliadas. Estes resultados deixam bastante evidente a importância da constituição dos compósitos em relação a carga inorgânica em relação à dureza superficial. A baixa quantidade de carga da resina Solidex (53% em volume) parece justificar seu deficiente resultado de dureza Knoop.

Sem dúvida a otimização da polimerização de resinas compostas pode ser conseguida através dos mais diversos tipos de tratamentos adicionais. No entanto, é necessário identificar o tipo de tratamento adicional mais adequado para cada resina composta a ser utilizada, visto que a diferença de desempenho físico entre os compósitos está intrinsecamente relacionada à composição.

Independente do tipo de tratamento adicional utilizado acredita-se que as alterações promovidas na estrutura molecular das resinas compostas possam determinar melhoras em suas propriedades mecânicas. É necessário para tanto o desenvolvimento de pesquisas clínicas para avaliar a longevidade das resinas

compostas de uso direto submetidas a tratamento adicional, utilizadas em restaurações indiretas, para que se firmem como uma alternativa ao amálgama e às cerâmicas.

7 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados deste estudo, pode-se afirmar que:

a) Em relação à resistência à flexão:

- Há diferenças de comportamento entre as resinas compostas estudadas;
- O aumento da densidade de energia não refletiu em melhora desta propriedade mecânica;
- O tratamento de pós-cura em autoclave melhorou esta propriedade mecânica para os compósitos Glacier e Master Fill, bem como o tratamento em forno de luz, melhorou o desempenho do compósito Master Fill, sendo que os demais compósitos não apresentaram melhoras nas condições estudadas.
- O compósito Z100 apresentou esta propriedade mecânica superior ao compósito de laboratório Belleglass HP, bem como todos os compósitos de uso direto avaliados foram superiores à Solidex.
- A hipótese nula foi rejeitada apenas para os compósitos Glacier, quando tratado em autoclave; e Master Fill, quando tratado em autoclave ou em forno de luz, pois tiveram aumento da resistência à flexão.

b) Em relação à dureza Knoop

- Há diferenças de comportamento entre as resinas compostas estudadas;
- O aumento da densidade de energia refletiu em melhora desta propriedade mecânica para os compósitos Fillmagic e Z100;

- O tratamento de pós-cura em autoclave melhorou esta propriedade mecânica para o compósito Master Fill, quando comparado aos compósitos Fillmagic e W3D Master.
- O compósito Z100 apresentou esta propriedade mecânica superior ao compósito de laboratório Belleglass HP, bem como todos os compósitos de uso direto avaliados foram superiores à Solidex;
- A hipótese nula foi rejeitada para os compósitos Fillmagic e Z100, pois tiveram aumento da dureza Knoop quando fotoativados com o dobro da densidade de energia.

REFERÊNCIAS¹

Amin Ae-HM, Gomaa HM. Effect of different post-cure heat-treatment methods on the dimensional stability of a visible light-cured composite inlay. *Egypt Dent J* 1994;40(4):879-84.

Anusavice KJ. Phillips' Science of dental materials. 10th. Philadelphia: Saunders;1996.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of UEDMA BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dent Mater* 1998;14(1):51-6.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Mechanical properties of heat treated restorative resins for use in the inlay/onlay technique. *Scand J Dent Res* 1990;98(6):564-7.

Bagis YH, Rueggeberg FA. Effect of post-cure temperature and heat duration on monomer conversion of photo-activated dental resin composite. *Dent Mater* 1997;13(4):228-32.

Bagis YH, Rueggeberg FA. The effect of post-cure heating on residual, unreacted monomer in a commercial resin composite. *Dent Mater* 2000;16(4):244-7.

Ballester RY. Influência de diferentes tratamentos da interface de resinas compostas coladas na sua resistência ao dobramento, em função de marcas e tempos de armazenamento [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 1990.

Bird S, Thompson J, Bayne S, Rapp M, Stamatiades P, Berg J. Mechanical properties of posterior composite materials. *J Dent Res* 1998;77:203 (Resumo AADR n. 778).

Burtscher P. Stability of radicals in cured composite materials. *Dent Mater* 1993;9(4):218-21.

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

Cesar PF, Miranda Jr WG, Braga RR. Influence of shade and storage time on the flexural strength, flexural modulus, and hardness of composites used for indirect restorations. *J Prosthet Dent* 2001;86(3):289-96.

Chalifoux PR. Treatment considerations for posterior laboratory-fabricated composite resin restorations. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1998;10(8):969-78; quiz 980.

Christensen GJ. The coming demise of the cast gold restoration? *J Am Dent Assoc* 1996;127(8):1233-6.

Chung KH. The relationship between composition and properties of posterior resin composites. *J Dent Res* 1990;69(3):852-6.

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

Cook WD, Johannson M. The influence of postcuring on the fracture properties of photo-cured dimethacrylate based dental composite resin. *J Biomed Mater Res* 1987;21(8):979-89.

Corrêa IC. Influência das dimensões dos espécimes e tratamento térmico pós-ativação na resistência à flexão de uma resina composta [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2000.

Covington JS, McBride MA. The autoclaved composite inlay--a useful office-produced restoration. *J Tenn Dent Assoc* 1990;70(3):10-3.

De Gee AJ, Pallav P, Werner A, Davidson CL. Annealing as a mechanism of increasing wear resistance of composites. *Dent Mater* 1990;6(4):266-70.

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

Eldiwany M, Powers JM, George LA. Mechanical properties of direct and post-cured composites. *Am J Dent* 1993;6(5):222-4.

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

Falco MA. Composites: how well do you know them? J N J Dent Assoc 1990;61(4):46-50.

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

Ferracane JL, Condon JR. Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. Dent Mater 1992;8(5):290-5.

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.

Ferracane JL, Mitchem JC. Properties of posterior composite: results of round robin testing for a specification. Dent Mater 1994;10(2):92-9.

Hinoura K, Aoshima Y, Iwano K, Onose H, Moore BK. Effect of die material hue and value on polymerization of indirect resin inlays. Int J Prosthodont 1993;6(3):255-8.

Hirabayashi S, Hood JA, Hirasawa T. The extent of polymerization of Class II light-cured composite resin restorations; effects of incremental placement technique, exposure time and heating for resin inlays. Dent Mater J 1993;12(2):159-70.

Ho CT, Vijayaraghavan TV, Lee SY, Tsai A, Huang HM, Pan LC. Flexural behavior of post-cured composites at oral-simulating temperatures. J Oral Rehabil 2001;28(7):658-67.

Huysmans MC, van der Varst PG, Lautenschlager EP, Monaghan P. The influence of simulated clinical handling on the flexural and compressive strength of posterior composite restorative materials. Dent Mater 1996;12(2):116-20.

International Organization for Standardization (ISO). Dentistry – resin-based filling materials: Technical Corrigendum 1 – ISO 4049: 1998. Switzerland: ISO; 1992.

Johnston WM, Leung RL, Fan PL. A mathematical model for post-irradiation hardening of photoactivated composite resins. Dent Mater 1985;1(5):191-4.

Kanca III J. The effect of heat on the surface hardness of light-activated composite resins. Quintessence Int 1989;20(12):899-901.

Kandil SH, Kamar AA, Shaaban SA, Taymour NM, Morsi SE. Effect of temperature and ageing on the mechanical properties of dental polymeric composite materials. *Biomaterials* 1989;10(8):540-4.

Kildal KK, Ruyter IE. How different curing methods affect the degree of conversion of resin-based inlay/onlay materials. *Acta Odontol Scand* 1994;52(5):315-22.

Koupis NS, Vercruysse CW, Marks LA, Martens LC, Verbeeck RM. Curing depth of (polyacid-modified) composite resins determined by scraping and a penetrometer. *Dent Mater* 2004;20(10):908-14.

Leinfelder KF. Using composite resin as a posterior restorative material. *J Am Dent Assoc* 1991;122(4):65-70.

Leinfelder KF. New developments in resin restorative systems. *J Am Dent Assoc* 1997;128(5):573-81.

Leung RL, Adishian SR, Fan PL. Post irradiation comparison of photoactivated composite resins. *J Prosthet Dent* 1985;54(5):645-9.

Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res* 1985;64(12):1396-401.

Lisboa MV, Saito T, Cardoso PEC. Influência do tratamento térmico em autoclave sobre a resistência à flexão e à dureza de resinas compostas de uso indireto. [Trabalho realizado na disciplina de Delineamento Experimental]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP, Departamento de Materiais Dentários; 2004.

Loza-Herrero MA, Rueggeberg FA. Time-temperature profiles of post-cure composite ovens. *Gen Dent* 1998;46(1):79-83.

Loza-Herrero MA, Rueggeberg FA, Caughman WF, Schuster GS, Lefebvre CA, Gardner FM. Effect of heating delay on conversion and strength of a post-cured resin composite. *J Dent Res* 1998;77(2):426-31.

Mandikos MN, McGivney GP, Davis E, Bush PJ, Carter JM. A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resins. *J Prosthet Dent* 2001;85(4):386-95.

Manhart J, Kunzelmann KH, Chen HY, Hickel R. Mechanical properties and wear behavior of light-cured packable composite resins. *Dent Mater* 2000;16(1):33-40.

Mante F, Saleh N, Mante M. Softening patterns of post-cure heat-treated dental composites. *Dent Mater* 1993;9(5):325-31.

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.

McCabe JF. Developments in composite resins. *Br Dent J* 1984;157(12):440-4.

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

Miara P. Aesthetic guidelines for second-generation indirect inlay and onlay composite restorations. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1998;10(4):423-31; quiz 432.

Miyazaki M, Oshida Y, Moore BK, Onose H. Effect of light exposure on fracture toughness and flexural strength of light-cured composites. *Dent Mater* 1996;12(6):328-32.

Nambu T, Watanabe C, Tani Y. Influence of water on the transverse strength of posterior composite resins. *Dent Mater J* 1991;10(2):138-48.

Nash RW. Indirect composite resin restorations: esthetics and function without wear of opposing natural teeth. *Compend Contin Educ Dent* 1997;18(9):838-42.

Onose H, Sano H, Kanto H, Ando S, Hasuike T. Selected curing characteristics of light-activated composite resins. *Dent Mater* 1985;1(2):48-54.

Park SH, Lee CS. The difference in degree of conversion between light-cured and additional heat-cured composites. *Oper Dent* 1996;21(5):213-7.

Park SH. Comparison of degree of conversion for light-cured and additionally heat-cured composites. *J Prosthet Dent* 1996;76(6):613-8.

Pereira CL, Demarco FF, Cenci MS, Osinaga PW, Piovesan EM. Flexural strength of composites: influences of polyethylene fiber reinforcement and type of composite. Clin Oral Investig 2003;7(2):116-9.

Peutzfeldt A. Effect of temperature and duration of post-cure on in vitro wear and quantity of remaining double bonds of resins containing carboxylic anhydride. Eur J Oral Sci 1995;103(4):259-63.

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

Peutzfeldt A, Asmussen E. Mechanical properties of three composite resins for the inlay/onlay technique. J Prosthet Dent 1991;66(3):322-4.

Peutzfeldt A, Asmussen E. Effect of temperature and duration of post-cure on selected mechanical properties of resin composites containing carboxylic anhydrides. Scand J Dent Res 1992a;100(5):296-8.

Peutzfeldt A, Asmussen E. Influence of aldehydes on selected mechanical properties of resin composites. J Dent Res 1992b;71(8):1522-4.

Peutzfeldt A, Asmussen E. Influence of ketones on selected mechanical properties of resin composites. J Dent Res 1992c;71(11):1847-50.

Peutzfeldt A, Asmussen E. The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and in vitro wear of two resin composites. J Dent 2000;28(6):447-52.

Phillips RW. Materiais dentários de Skinner. 10ª. ed. Trad. de Júlio Jorge d'Albuquerque Lóssio. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan;1998.

Pitel ML. The art of indirect composites, Part 1. Dent Today 1996;15(2):58-65.

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

Powers JM, Smith LT, Eldiwany M, Ladd GD. Effects of post-curing on mechanical properties of a composite. *Am J Dent* 1993;6(5):232-4.

Prazeres PSL, Cardoso PEC, Poloniato M, Meira JBC. Avaliação da resistência flexural de diferentes materiais restauradores estéticos. In: *Anais da 15ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica*; 1998 set-14; Águas de São Pedro. São Paulo: SBPqO; 1998. p. 103, Res. B027.

Quance SC, Shortall AC, Harrington E, Lumley PJ. Effect of exposure intensity and post-cure temperature storage on hardness of contemporary photo-activated composites. *J Dent* 2001;29(8):553-60.

Razak AA, Harrison A. The optimum curing cycle for a light- and heat-cured composite inlay material. *J Oral Rehabil* 1997;24(4):297-302.

Reinhardt JW, Boyer DB, Stephens NH. Effects of secondary curing on indirect posterior composite resins. *Oper Dent* 1994;19(6):217-20.

Rosentritt M, Gröger G, Behr M, Handel G. Dynamic mechanical analysis of dental composites. *J Dent Res* 2004;

Roulet JF. Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam. *J Dent* 1997;25(6):459-73.

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

Rueggeberg FA, Ergle JW, Lockwood PE. Effect of photoinitiator level on properties of a light-cured and post-cure heated model resin system. *Dent Mater* 1997;13(6):360-4.

Ruyter IE. Types of resin-based inlay materials and their properties. *Int Dent J* 1992;42(3):139-44.

Santana IL, Rodrigues-Filho LE, Geraldeli S, Atui RAFL. Estudo da resistência flexional de resinas compostas híbridas, microparticuladas e nanoparticuladas. *Braz Oral Res* 2004;18, Suppl: Res. Pa204, p. 136, set. 2004.

Shinkai K, Suzuki S, Leinfelder KF, Katoh Y. How heat treatment and thermal cycling affect wear of composite resin inlays. *J Am Dent Assoc* 1994;125(11):1467-72.

Soares CJ, Pizi EC, Fonseca RB, Martins LR. Mechanical properties of light-cured composites polymerized with several additional post-curing methods. *Oper Dent* 2005;30(3):389-94.

Takeshige F, Kinomoto Y, Torii M. Additional heat-curing of light-cured composite resin for inlay restoration. *J Osaka Univ Dent Sch* 1995;35:59-66.

Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Properties of four composite veneering materials polymerized with different laboratory photo-curing units. *J Oral Rehabil* 1998;25(5):358-64.

Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Effectiveness of polymerization of a prosthetic composite using three polymerization systems. *J Prosthet Dent* 1999;82(3):336-40.

Tanoue N, Atsuta M, Matsumura H. Properties of a new photo-activated composite polymerized with three different laboratory photo-curing units. *J Oral Rehabil* 2003;30(8):832-6.

Touati B. The evolution of aesthetic restorative materials for inlays and onlays: a review. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1996;8(7):657-66; quiz 668.

Touati B, Aidan N. Second generation laboratory composite resins for indirect restorations. *J Esthet Dent* 1997;9(3):108-18.

Trujillo M, Newman SM, Stansbury JW. Use of near-IR to monitor the influence of external heating on dental composite photopolymerization. *Dent Mater* 2004;20(8):766-77.

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

Walton JN. Esthetic alternatives for posterior teeth: porcelain and laboratory-processed composite resins. *J Can Dent Assoc* 1992;58(10):820-3.

Wendt Jr SL. The effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite resins. I. Diametral tensile strength, compressive strength, and marginal dimensional stability. *Quintessence Int* 1987;18(4):265-71.

Wendt Jr SL. Time as a factor in the heat curing of composite resins. *Quintessence Int* 1989;20(4):259-63.

Wendt Jr SL, Leinfelder KF. The clinical evaluation of heat-treated composite resin inlays. *J Am Dent Assoc* 1990;120(2):177-81.

Wilson MA, Norman RD. An investigation into the incidence of voids in indirect composite inlays formed using different packing techniques. *J Dent* 1991;19(5):296-300.

Wigren S, Zappini G. Wear and mechanical properties of indirect resin composites.[abstract 2853] *J Dent Res* 2004;82.

Woods A. Artglass: a new restorative option to porcelain. *Miss Dent Assoc J* 1998;54(2):36.

Xu HH. Whisker-reinforced heat-cured dental resin composites: effects of filler level and heat-cure temperature and time. *J Dent Res* 2000;79(6):1392-7.

Yap AU, Chandra SP, Chung SM, Lim CT. Changes in flexural properties of composite restoratives after aging in water. *Oper Dent* 2002;27(5):468-74.

Yap AU, Teoh SH. Comparison of flexural properties of composite restoratives using the ISO and mini-flexural tests. *J Oral Rehabil* 2003;30(2):171-7.

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

ANEXO A - Médias e Desvios Padrão (MPa) dos testes de Resistência à Flexão

Resistência à Flexão - Média e Desvio Padrão					
Resina	Face	Tratamento	Média	Desvio Padrão	N
Fillmagic	1	Controle	16,1342	0,9985	10
		Autoclave	15,3841	1,3340	10
		Forno	13,9208	1,3301	10
		Total	15,1463	1,5115	30
	2	Controle	15,4313	1,5316	10
		Autoclave	15,6031	1,7138	10
		Forno	14,9123	0,9256	10
		Total	15,3156	1,4123	30
	Total	Controle	15,7827	1,3090	20
		Autoclave	15,4936	1,4990	20
		Forno	14,4165	1,2258	20
		Total	15,2310	1,4528	60
Concept	1	Controle	13,1052	1,1070	10
		Autoclave	12,1304	1,0025	10
		Forno	12,1043	0,8869	10
		Total	12,4467	1,0577	30
	2	Controle	12,5049	0,9265	10
		Autoclave	10,8502	1,3918	10
		Forno	11,5822	1,1013	10
		Total	11,6458	1,3108	30
	Total	Controle	12,8050	1,0402	20
		Autoclave	11,4903	1,3509	20
		Forno	11,8433	0,9771	20
		Total	12,0462	1,2480	60
Glacier	1	Controle	11,9074	1,8559	10
		Autoclave	14,4090	1,4301	10
		Forno	13,3564	1,2071	10
		Total	13,2243	1,8011	30
	2	Controle	11,6250	2,4404	10
		Autoclave	15,6519	1,0322	10
		Forno	12,4676	1,3826	10
		Total	13,2482	2,4255	30
	Total	Controle	11,7662	2,1151	20
		Autoclave	15,0305	1,3711	20
		Forno	12,9120	1,3430	20
		Total	13,2362	2,1181	60
Z 100	1	Controle	16,2284	2,0198	10
		Autoclave	17,1349	1,8565	10
		Forno	12,4134	5,2168	10
		Total	15,2589	2,8619	30
	2	Controle	15,6645	1,4963	10
		Autoclave	18,2545	4,6913	10
		Forno	13,5035	2,5573	10
		Total	15,8075	3,6684	30
	Total	Controle	15,9465	1,7540	20
		Autoclave	17,6947	3,5196	20
		Forno	12,9585	2,3955	20
		Total	15,5332	3,2736	60

Continua

Resistência à Flexão - Média e Desvio Padrão					
Resina	Face	Tratamento	Média	Desvio Padrão	N
Master Fill	1	Controle	10,9420	1,8851	10
		Autoclave	14,4065	2,5908	10
		Forno	12,6839	2,2051	10
		Total	12,6775	2,6009	30
	2	Controle	9,8451	1,5537	10
		Autoclave	14,9834	2,0942	10
		Forno	12,7701	2,4324	10
		Total	12,5328	2,9202	30
	Total	Controle	10,3935	1,7730	20
		Autoclave	14,6950	2,3118	20
		Forno	12,7270	2,2600	20
		Total	12,6052	2,7426	60
W3D Master	1	Controle	15,7889	1,2254	10
		Autoclave	17,0330	1,1312	10
		Forno	15,4314	2,0641	10
		Total	16,0844	1,6349	30
	2	Controle	15,7102	2,2904	10
		Autoclave	17,4464	1,6068	10
		Forno	15,5210	1,8363	10
		Total	16,2258	2,0622	30
	Total	Controle	15,7495	1,7882	20
		Autoclave	17,2397	1,3690	20
		Forno	15,4762	1,9020	20
		Total	16,1551	1,8464	60
Total	1	Controle	14,0177	2,6223	60
		Autoclave	15,0830	2,3425	60
		Forno	13,3184	2,0020	60
		Total	14,1397	2,4343	180
	2	Controle	13,4635	2,8615	60
		Autoclave	15,4649	3,3119	60
		Forno	13,4594	2,2237	60
		Total	14,1293	2,9734	180
	Total	Controle	13,7406	2,7471	120
		Autoclave	15,2740	2,8628	120
		Forno	13,3889	2,1080	120
		Total	14,1345	2,7134	360

conclusão

ANEXO B - Médias e Desvios Padrão dos testes de Dureza Knoop

Dureza Knoop - Média e Desvio Padrão					
Resina	Face	Tratamento	Média	Desvio Padrão	N
Fillmagic	1	Controle	38.8100	4.8317	10
		Autoclave	39.7000	5.2563	10
		Forno	42.6800	3.6276	10
		Total	40.3967	4.7683	30
	2	Controle	46.9900	4.8811	10
		Autoclave	43.1400	1.9733	10
		Forno	44.9000	2.7825	10
		Total	45.0100	3.6834	30
	Total	Controle	42.9000	6.3208	20
		Autoclave	41.4200	4.2480	20
		Forno	43.7900	3.3463	20
		Total	42.7033	4.8224	60
Concept	1	Controle	35.5800	2.5187	10
		Autoclave	38.0900	2.7000	10
		Forno	38.9800	2.06687	10
		Total	37.5500	2.7755	30
	2	Controle	39.7700	2.8678	10
		Autoclave	34.8300	2.8265	10
		Forno	35.4600	2.6349	10
		Total	36.6867	3.4889	30
	Total	Controle	37.6750	3.3942	20
		Autoclave	36.4600	3.1677	20
		Forno	37.2200	2.9286	20
		Total	37.1183	3.1558	60
Glacier	1	Controle	36.2700	3.6353	10
		Autoclave	37.2100	2.0830	10
		Forno	36.3900	2.3928	10
		Total	36.6233	2.7213	30
	2	Controle	37.6800	2.1133	10
		Autoclave	36.5600	1.3057	10
		Forno	39.4000	2.2131	10
		Total	37.8800	2.2015	30
	Total	Controle	36.9750	2.9831	20
		Autoclave	36.8850	1.7245	20
		Forno	37.8950	2.7233	20
		Total	37.2517	2.5345	60
Z 100	1	Controle	76.3400	2.9300	10
		Autoclave	80.9500	4.8406	10
		Forno	80.6000	1.7845	10
		Total	79.2967	3.9328	30
	2	Controle	83.5100	3.1737	10
		Autoclave	83.9600	3.6268	10
		Forno	84.9200	4.0425	10
		Total	84.1300	3.5549	30
	Total	Controle	79.9250	4.7293	20
		Autoclave	82.4550	4.4401	20
		Forno	82.7600	3.7630	20
		Total	81.7133	4.4445	60

Continua

Dureza Knoop - Média e Desvio Padrão					
Resina	Face	Tratamento	Média	Desvio Padrão	N
Master Fill	1	Controle	34.3500	2.4959	10
		Autoclave	37.8500	3.5151	10
		Forno	37.8400	1.4104	10
		Total	36.6800	3.0321	30
	2	Controle	37.2800	1.8701	10
		Autoclave	38.9200	2.5888	10
		Forno	36.7400	1.2660	10
		Total	37.6467	2.1334	30
	Total	Controle	35.8150	2.6204	20
		Autoclave	38.3850	3.0543	20
		Forno	37.2900	1.4212	20
		Total	37.1633	2.6445	60
W3D Master	1	Controle	40.5800	1.4474	10
		Autoclave	40.5900	1.1571	10
		Forno	42.8700	0.8970	10
		Total	41.3467	1.5861	30
	2	Controle	43.8900	0.8319	10
		Autoclave	42.2000	0.7468	10
		Forno	42.3500	1.0288	10
		Total	42.8133	1.1488	30
	Total	Controle	42.2350	2.0502	20
		Autoclave	41.3950	1.2572	20
		Forno	42.6100	0.9765	20
		Total	42.0800	1.5595	60
Total	1	Controle	43.6550	15.1903	60
		Autoclave	45.7317	16.2868	60
		Forno	46.5600	15.6796	60
		Total	45.3156	15.6852	180
	2	Controle	48.1867	16.5372	60
		Autoclave	46.6017	17.2520	60
		Forno	47.2950	17.4393	60
		Total	47.3611	16.9973	180
	Total	Controle	45.9208	15.9740	120
		Autoclave	46.1667	16.7114	120
		Forno	46.9275	16.5172	120
		Total	46.3383	16.3637	360