*Influência da variação da densidade
de potência na contração de
polimerização e na pigmentação de
resinas compostas fotossensíveis*

Marcela Charantola Rodrigues

Orientador Prof. Dr. Eduardo Batista Franco

MARCELA CHARANTOLA RODRIGUES

**Influência da variação da densidade de potência na
contração de polimerização e na pigmentação de resinas
compostas fotossensíveis**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Odontológicas Aplicadas, na área de concentração Dentística Restauradora.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Batista Franco

Versão Corrigida

Bauru

2011

Rodrigues, Marcela Charantola
R618i Influência da variação da densidade de potência na
contração de polimerização e na pigmentação de
resinas compostas fotossensíveis / Marcela Charantola
Rodrigues. - Bauru, 2011.

136p. :il; 30cm

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de
Bauru. Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Batista Franco

Nota: A versão original desta dissertação encontra-se disponível no Serviço de Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Bauru – FOB/USP.

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a
reprodução total ou parcial desta dissertação/tese, por processos
fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Assinatura:

DEDICATÓRIA

À Deus

Quando sozinhos, nem sempre temos a certeza de que caminho seguir, nem sempre temos força para enfrentar dificuldades, nem sempre temos alegria para continuar, nem sempre temos esperança para o amanhã. Mas quando contigo sempre tenho a certeza de que tudo em minha vida segue o melhor caminho, tem a melhor direção e é sempre o melhor. Obrigada por sempre estar comigo.

À minha família, meus pais José Mauro e Maria Lúcia, meus irmãos Letícia e Henrique.

Certa vez, ainda quando criança, fui indagada sobre como seria a família perfeita, imediatamente comecei a pensar em todas as características que cada uma das pessoas da minha família deveria ter para compor minha família perfeita. Poucos segundos depois, experimentei a vergonha e egoísmo e me dei conta de que vocês, com os quais aprendo com semelhanças e diferenças, não são somente a minha família perfeita, e sim parte do que me completa. Amo vocês e muito obrigada a cada um.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Batista Franco

Ter o senhor como meu orientador, me traz o sentimento de uma pessoa privilegiada. Cada detalhe e minúcia que o senhor tem em executar as tarefas diárias me ensinam sobre competência e habilidades. Tenho o senhor como um exemplo de pessoa, profissional e professor, que de uma forma extremamente especial marcou meu caminho. Muito obrigada pela confiança que foi depositada em mim, pela dedicação e paciência que o senhor teve ao me ensinar clínica e cientificamente. Os aprendizados que tive ao longo do curso e da convivência com o senhor, extrapolam a didática da Odontologia e me transformam como pessoa. Muito, muito obrigada por tudo.

"Se fui capaz de ver mais longe é porque me apoiei em ombros de gigantes"

Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor *Rafael Francisco Lia Mondelli*, meu orientador de iniciação científica durante a graduação, que continuou me ajudando, junto ao meu orientador, no desenvolvimento deste trabalho. Obrigada pelas oportunidades, pelo incentivo, disponibilidade, atenção e todo aprendizado que tive com o senhor.

À Professora Doutora *Linda Wang*, querida Linda, agradeço pela amizade, incentivo a carreira acadêmica, pela dedicação e cuidado na correção de artigos científicos. Será sempre um exemplo de profissional para mim.

Ao Professor Doutor *Sérgio Kyoshi Ishikiriyama* que com seu jeito amigável, sempre mostrou dedicação e excelência na execução dos procedimentos odontológicos, trazendo sempre incentivo e motivação a carreira.

À Professora Doutora *Maria Teresa Atta*, por sempre ser tão atenciosa, por colaborar grandemente em nosso crescimento nas apresentações dos seminários e pelo carinho em nos acolher em sua casa, estreitando a relação entre nós, alunas e vocês, professoras. Obrigada.

Aos demais docentes do Departamento de Dentística Prof. Dr. *Carlos Eduardo Francischone*, Prof. Dr. *José Mondelli*, Prof. Dr. *José Carlos Pereira*, Prof^a. Dr^a. *Maria Fidela de Lima Navarro* o imenso e excelente reconhecimento que a área de Dentística da Faculdade de Odontologia de Bauru possui se deve ao fato do trabalho em equipe de profissionais mais que excelentes como vocês. A todos meu reconhecimento e agradecimento por possibilitarem meu aprendizado da melhor forma.

Aos docentes do Departamento de Materiais Dentários Prof. Dr. *César Antunes de Freitas*, Prof. Dr. *Paulo Afonso Silveira Francisconi* e Prof^a. Dr^a. *Ana Flávia Sanches Borges*, meu agradecimento por sempre disponibilizarem o departamento para nossas atividades durante o andamento do curso, por acompanharem nosso desenvolvimento nas diversas disciplinas sempre acrescentando conhecimentos a todos.

Ao Prof. Dr. *Heitor Marques Honório* por realizar a análise estatística deste trabalho, me atendendo sempre com muita atenção, obrigada.

Às colegas do Doutorado *Leslie*, *Flávia*, *Lú*, *Lulu* que me ajudaram desde a preparação para ingresso no curso e no desenvolver de muitos trabalhos e apresentações de seminários durante o desenvolver do curso. Obrigada.

Aos funcionários *Rita, Ângela, Maria, Elizabeth, Zuleica, Mauro, Nelson, Benedito e Alcides*. Muito obrigada pela atenção que sempre dispuseram para me ajudar e por me darem apoio, necessário, no decorrer deste curso.

Ao funcionário do CIP *Renato* que sempre se disponibilizou a me ajudar nas etapas laboratoriais deste trabalho. Muito obrigada mesmo por toda atenção e dedicação.

Ao laboratório de Bioquímica que me disponibilizou a utilização de suas instalações para a realização de grande parte laboratorial deste trabalho. Obrigada.

À instituição Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, por acreditar neste trabalho e financiá-lo com uma bolsa de estudos durante toda a minha pós-graduação.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao querido *Wagner Baseggio*, definitivamente um anjo em minha vida, muito obrigada todos os minutos de conversa, por cada ensinamento, pelo incentivo inicial a carreira acadêmica, sua dedicação me mostra um exemplo a ser seguido. Muito obrigada mesmo.

Às minhas amigas *Larissa, Natacha e Priscila*, que mesmo a distância, acompanharam o desenvolvimento deste trabalho e de mais uma etapa de minha vida. Vocês dividem comigo *todos* os momentos e me ensinam o valor que a amizade possui. Ter vocês em minha vida me faz mais feliz.

À querida *Renata*, durante estes dois anos de convivência diária passamos por fases que nos transformaram e amadureceram, muito obrigada pelo seu acolhimento e pelos ensinamentos de culinários a ortodônticos. Desejo muitas boas surpresas sempre.

À minha amiga *Livia*, muito obrigada pelo companheirismo, pela amizade, por muitas vezes dividir comigo minhas aflições e momentos difíceis. Obrigada também pelas alegrias e comemorações que fomos felizes em compartilhar.

Às minhas amigas de graduação *Leticia e Thaís* que permaneceram em Bauru junto comigo para cursar o Mestrado. Obrigada pela sempre companhia, pelos momentos que passamos juntas, essenciais para mim. Obrigada.

Aos meus colegas de mestrado *Ana Carolina, Ana Mirian, Enio, Gabriela, Guilherme, Larissa, Luciana, Maria Cristina, Thiago, Victor e Yvette* que dividiram comigo todos os momentos durante este curso. Hoje levo a maioria de vocês como grandes amigos para a vida toda. *Gabi*, minha colega de turma que se tornou minha querida co-autora e dupla de clínica, *Yvette* nosso primeiro seminário será sempre lembrado com muito carinho, início de uma grande amizade, *Ana* sua companhia sempre é ótima, *Carol*, minha companheira do PAE, descobri em você uma linda pessoa. *Kiki* e sua receita fabulosa de brigadeirão, obrigada por cada momento de felicidade instantânea que foi proporcionado, *Lú*, você será um ótimo parâmetro sempre, *Larissa* obrigada por todas as dicas de como ser uma excelente mulher. *Carioca* querido companheiro de pesquisa e de momentos de comemoração. *Victor*, meu amigo paraguaio com todas as informações tecnológicas necessárias, a todos vocês com muito carinho, muito obrigada.

À 46ª turma de Odontologia pela homenagem como pós graduanda da turma. O orgulho que sinto de vocês, agora já dentistas, e o fato de saber que de uma pequena forma eu contribui para isto me incentiva na carreira acadêmica de uma maneira imensa. Muito obrigada a todos da turma pelo carinho, foi inesquecível.

"A dúvida é o princípio da sabedoria"

Aristóteles

RESUMO

O presente estudo, *in vitro*, teve como objetivo avaliar a influência da variação da densidade de potência (300, 600, 1000 e 1550 mW/cm²) na contração de polimerização e na pigmentação de duas resinas compostas, Filtek Z250 e Filtek Z350XT (3M/ESPE). Para avaliação das forças geradas durante a contração de polimerização foram utilizadas duas bases de aço, em forma retangular (6 X 2 mm), posicionadas paralelamente na máquina de ensaios (Emic - DL 500), uma conectada à célula de carga de 100 Kg e, a outra, ao braço fixo. As resinas compostas foram introduzidas entre as bases metálicas, com altura de 1mm, volume de 12mm³ e fator C de 1,5. Para fotoativação foi utilizado o aparelho LED Blue Star 3 (Microdont – Micro Usinagem de Precisão LTDA), determinando-se o tempo de 20 s para as diferentes densidades de potência. As bases ficaram fixas durante o ensaio (120 s) e as forças geradas durante a polimerização foram registradas numericamente e por meio de gráficos [força (N) x tempo (s)], num total de dez ensaios para cada grupo. Para os testes de pigmentação foram confeccionados, em uma matriz pré-fabricada, cinco espécimes circulares (6 mm X 2 mm) para cada grupo. As avaliações das alterações de cor (ΔE) foram realizadas com o Espectrofotômetro Easyshade com o sistema CIE-Lab, em diferentes períodos (inicial, após 6 e 12hs, 1, 2, 3, 4 e 5 dias de imersão em café). Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística ANOVA a dois critérios e teste Tukey para comparações individuais ($p < 0,05$). Os resultados evidenciaram que a variação da densidade de potência influenciou diretamente na indução da contração de polimerização, com geração de forças significativamente maiores à medida que se aumentou os valores de irradiância, independente da resina composta utilizada. De forma semelhante, as alterações de cor apresentaram uma relação com a variação da densidade de potência, porém de forma indireta, evidenciando-se que o aumento progressivo da irradiância inferiu em menores valores de ΔE , assim como uma pigmentação mais acentuada para a resina composta nanoparticulada em relação à resina micro-híbrida. Considerando a observação de efeitos distintos com emprego de diferentes densidades de potência, dentro de um mesmo tempo de fotoativação das resinas compostas analisadas, tanto em relação à indução da contração de polimerização quanto de alteração de cor, deve ser concebido que o fator densidade de potência não pode ser estabelecido de forma independente aos demais parâmetros técnicos relacionados à dose de irradiância, à sequência de energia necessária e ao espectro de luz requerido para efetivação da polimerização das diferentes formulações de compósitos disponíveis.

Palavras-chave: Polimerização. Contração. Cor.

ABSTRACT

Influence of variation of power density on polymerization shrinkage and pigmentation of photosensitive resins

The aim of this in vitro study was to evaluate the influence of the power density (300, 600, 1000 and 1550 mW/cm²) on polymerization shrinkage and pigmentation of two composite resins, Filtek Z250 and Filtek Z350XT (3M/ESPE). The experimental groups were set based on different combinations of the influencing factors. For the polymerization shrinkage test two steel bases with a parallel disposition were used, the movable one was connected to a 100 kg load cell and the other one was fixed using a universal testing machine (EMIC - DL 500). The resin composite was inserted between the bases and light-cured for 20 s with a LED unit (Blue Star 3, Microdont). The bases stayed fixed during the test (120 s) and the polymerization stresses generated were recorded in graphs [curves force (N) x time (s)]. A total of ten tests for each group were made. For the pigmentation tests five circular specimens (6 mm X 2 mm) for each group were made using a prefabricated mold. Using the color-measuring device Easyshade with the CIE-Lab system, evaluations were made at different times (baseline, after 6 hours, 12 hours, 1, 2, 3, 4 and 5 days of coffee immersion). Statistical analysis was performed with two-way ANOVA and Tukey test for individual comparisons ($p < 0.05$). The results showed that the power density variation directly influenced the induction of polymerization shrinkage, with significantly greater generation force as it increased the values of irradiance, independent of the resin used. Similarly, color changes showed a relation with the power density variation, however demonstrating indirectly that the gradual increase in irradiance inferred at lower values of ΔE , as pigmentation was more pronounced for the composite with nanoparticles compared to a micro-hybrid resin. Considering the observation of various effects when using different power densities within the same light-curing time of the composite resins analyzed, in relation to the induction of polymerization shrinkage and color change, should be understood that the power density factor can not be established independently of other technical parameters related to the irradiation dosage, the sequence of necessary energy and light spectrum required to effecting the polymerization of composites with different available formulations.

Keywords: Polymerization. Shrinkage. Color

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURAS

Figura 1	Resinas compostas estudadas	71
Figura 2	Aparelho fotoativador Blue Star 3	71
Figura 3	Distanciadores de plástico transparente	71
Figura 4	Limitador plástico transparente fixado à ponteira de fibra óptica.....	71
Figura 5	Bases metálicas acopladas à máquina de ensaios Emic.....	73
Figura 6	Teste de avaliação da força de contração de polimerização, com adaptação de um dos distanciadores	73
Figura 7	Matriz empregada na confecção dos espécimes para o teste de pigmentação	75
Figura 8	Fotoativação e obtenção dos espécimes de resina composta.	76
Figura 9	Esquema representativo das dimensões totais do corpo- de-prova	76
Figura 10	Corpo-de-prova fixado com cera pegajosa no disco de acrílico	79
Figura 11	Politriz Metalográfica.....	79
Figura 12	Lixas de granulação 600 e 1200	79
Figura 13	Espectrofotômetro Easyshade	80
Figura 14	Bloco branco para padronização do fundo.....	80
Figura 15	Avaliação de cor.....	80

- GRÁFICOS

Gráfico 1	Avaliação comparativa das médias das forças (N) geradas durante a contração de polimerização da resina composta Filtek Z250 em função das diferentes densidades de potência.....	86
Gráfico 2	Avaliação comparativa das médias das forças (N) geradas durante a contração de polimerização da resina composta Filtek Z350XT em função das diferentes densidades de potência.....	86

- QUADROS

Quadro 1	Apresentação da marca comercial, classificação, cor sistema de ativação, fabricante, número de lote, ano e mês de validade das resinas compostas utilizadas neste estudo.....	69
Quadro 2	Composição básica das resinas compostas utilizadas.....	70
Quadro 3	Classificação dos espécimes em grupos com suas respectivas resinas compostas e densidade de potência para os testes de contração de polimerização	74
Quadro 4	Classificação dos espécimes em grupos com suas respectivas resinas compostas e densidade de potência para os testes de pigmentação	77
Quadro 5	Períodos de avaliação da cor de todos os grupos experimentais	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Média dos valores de contração (N), desvio padrão e análise estatística dos diferentes grupos estudados	85
Tabela 2	Média dos valores do ΔE (alterações de cor) após a imersão em café, desvio padrão e análise estatística dos diferentes grupos estudados para a resina composta Filtek Z250.....	87
Tabela 3	Média dos valores do ΔE (alterações de cor) após a imersão em café, desvio padrão e análise estatística dos diferentes grupos estudados para a resina composta Filtek Z350XT	88

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

LED	Light Emitting Diode
BisEMA	Bisfenol A dimetacrilato etoxilado
BisGMA	Bisfenol glicidil metacrilato
TEGDMA	Trietilenoglicol dimetacrilato
UDMA	1,6-bis-(metacriloxi-2-etoxiaminocarbonila)-2,4,4-trimetil hexano
PEGDMA	Polietilenoglicol dimetacrilato
C	Carbono
Fator C	Fator de configuração cavitária
n	Número de espécimes
n°	Número
MPa	Mega Pascal
mW/cm²	Miliwatts por centímetro quadrado
J/cm²	Joules por centímetro quadrado
mm³	Milímetro cúbico
mm²	Milímetro quadrado
mm	Milímetro
cm	Centímetro
nm	Nanômetro
µm	Micrômetro
s	Segundos
h	Hora
kg	Quilogramas
ml	Mililitros
<i>In vitro</i>	(latim) em laboratório
ΔE	Diferença da densidade de cor
ANOVA	Análise de variância
P	Nível de significância
%	Por cento
>	Maior
<	Menor
±	Mais ou menos
D.P.	Desvio padrão
°C	Graus centígrados
Hz	Hertz
N	Newton

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	O conceito de densidade de potência e energia	25
2.2	Cinética de polimerização	26
2.3	Influência da formulação das resinas compotas nas propriedades do material	28
2.4	Influência das densidades de potência nas propriedades das resinas compostas	30
2.5	Tensão de contração de polimerização	31
2.6	Estabilidade de cor	54
3	PROPOSIÇÃO	63
4	MATERIAL E MÉTODOS	67
4.1	Materiais	69
4.2	Métodos	71
4.2.1	Avaliação das forças de contração de polimerização	71
4.2.1.1	Descrição do método	71
4.2.1.2	Distribuição dos grupos	74
4.2.2	Teste de pigmentação	74
4.2.2.1	Confecção da matriz	74
4.2.2.2	Confecção dos corpos-de-prova	75
4.2.2.3	Distribuição dos grupos	76
4.2.2.4	Armazenamento inicial dos espécimes	77
4.2.2.5	Planificação e polimento dos espécimes	77
4.2.2.6	Descrição do método para avaliação da pigmentação	78
4.2.2.7	Armazenamento: em café	80
4.2.3	Análise estatística	81
5	RESULTADOS	83
5.1	Valores de contração	85
5.2	Valores de pigmentação	87
6	DISCUSSÃO	89
7	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS	113
	APÊNDICES	127

1 Introdução

1 INTRODUÇÃO

Resinas compostas contendo monômeros à base de metacrilatos foram introduzidas na Odontologia no início dos anos 60 (BOWEN, 1963). Ao longo dos últimos cinquenta anos, têm tido um aprimoramento tecnológico constante, com modificações no modo de ativação, na composição das partículas de carga, assim como dos componentes da matriz orgânica, tais como: monômeros e comonômeros, agentes fotoiniciadores e de inibidores da fotoativação, na busca permanente dos fabricantes para obtenção de formulações que possibilitem melhores propriedades físico-químicas e biológicas e de praticidade operacional para o Cirurgião-Dentista.

Não obstante a progressiva evolução composicional, o desempenho clínico das resinas compostas fotossensíveis está diretamente relacionado à técnica restauradora, especialmente quanto ao protocolo adotado para sua inserção e fotoativação. A reação de polimerização das resinas compostas se dá a partir da irradiância com uma energia luminosa (FRANCO; LOPES, 2003), que propicia a conversão de moléculas de monômeros em uma estrutura polimérica com formação de uma rede tridimensional, estruturada por meio de ligações intermoleculares que podem ser do tipo linear ou cruzada (FRIEDL *et al.*, 2000; FEILZER; DE GEE; DAVIDSON, 1990). Entretanto, todo esse mecanismo pode sofrer a influência de alguns fatores físicos que, atuando sobre a formação dos radicais livres, influenciam a estrutura polimérica final (RUEGGEBERG *et al.*, 1993).

Nesse sentido, o processo de polimerização e a densidade de potência da fonte de luz apresentam uma relação direta em que, quanto maior a quantidade de fótons (potência radiante), que incide sobre a superfície do material restaurador fotossensível, por unidade de área (mW/cm^2) maior será a transferência intermolecular de elétrons entre o agente fotoiniciador e a amina terciária, induzindo à formação de radicais livres que iniciarão o processo de formação das cadeias poliméricas a partir da quebra das ligações duplas de carbono ($\text{C}=\text{C}$) existentes nas moléculas dos monômeros (RUEGGEBERG; CAUGHMAN; CURTIS, 1994, PEUTZFELDT, 1997). A velocidade com que essa reação ocorre e a porcentagem de conversão dos monômeros em polímeros tem como fator-chave a densidade de

potência do aparelho fotoativador utilizado (RUEGGERBERG, 1999), especialmente no que tange à cinética de polimerização.

Portanto, o grau de conversão é determinado pela porcentagem de ligações duplas de carbono dos monômeros as quais são convertidas em ligações simples para formar a cadeia polimérica, durante a reação de polimerização. (FERRACANE, 1985). Existe uma correlação positiva entre o grau de conversão de compósitos resinosos e suas propriedades físico-químicas (CARMICHAEL; GIBSON; WALLS, 1997; COOK; JOHANNSON, 1987; FERRACANE; GREENER, 1986; FERRACANE; CONDON, 1992; FERRACANE *et al.*, 1997; HANSEL *et al.*, 1998), conduzindo os clínicos a empregarem doses de energia elevadas durante a fotoativação através de altas irradiâncias e/ou longos tempos de exposição (EMAMI; SÖDERHOLM; BERGLUND, 2003; HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002; KIRKPATRICK, 2005).

Porém, o grau de conversão dos monômeros à base de BisGMA não ocorre em sua totalidade, havendo um limite no grau de polimerização das resinas compostas, 50 a 60%, o qual não é possível ultrapassar na prática, mesmo aumentando-se a energia luminosa fornecida, uma vez que um dos dois grupos de metacrilato por molécula de dimetacrilato pode ter reagido e sido covalentemente ligado à estrutura do polímero, ficando como grupos pendentes (ANUSAVICE, 2005). Ademais, à medida que ocorre a atenuação da luz, em decorrência da absorção e dispersão da luz em direção à porção interna do material, aproximadamente 50% de energia se perde numa espessura de 0,5 mm em uma resina composta (RUEGGERBERG, 1999). Esse aspecto, relacionado à profundidade de polimerização, tem influência significativa nas propriedades físicas e biológicas (CAUGHMAN *et al.*, 1991) das restaurações. Isso poderia sugerir que as propriedades mecânicas dos compósitos resinosos também não melhorariam de forma significativa, mesmo com a utilização de altas doses de energia, haja vista que há um limite no processo de polimerização, a partir do qual aumentos não significantes do grau de conversão promovem aumentos significantes na tensão de contração gerada pelo material, o que poderia comprometer a interface dente/restauração sem, contudo, melhorar de forma significativa as propriedades do compósito.

Durante a polimerização, com a aproximação das moléculas de monômeros, ocorre uma alteração volumétrica do compósito, denominada contração de polimerização. Dependendo da magnitude dessa alteração, o substrato dental não é capaz de acompanhá-la, o que resulta no surgimento de uma tensão na interface de união entre o material restaurador e a estrutura dentária (BOWEN; NEMOTO; RAPSON, 1983; DAVIDSON; DE GEE; FEILZER, 1984; PASHLEY *et al.*, 2002). Os fatores responsáveis pelo desenvolvimento dessas tensões são o módulo de elasticidade e a contração de polimerização (FERRACANE, 2005), os quais, por sua vez, dependem da composição do material restaurador e do seu grau de conversão (LABELLA *et al.*, 1999).

Essas tensões de contração só serão absorvidas se forem apropriadamente compensadas pelo comportamento viscoelástico do material restaurador ou da estrutura dentária. Caso contrário, ocorrerá a formação de fendas marginais devido ao rompimento da interface adesiva, podendo acarretar o surgimento de microinfiltração, sensibilidade pós-operatória, manchamento da restauração e lesões cariosas recorrentes.

Pela evolução tecnológica das fontes de luz pode-se notar, no mercado odontológico, a ampla disponibilização de aparelhos para fotoativação de resinas compostas, sendo que nas últimas duas décadas houve uma crescente disseminação de aparelhos compostos por semicondutores à base de LEDs (diodos emissores de luz), os quais apresentam vantagens inerentes em relação aos demais sistemas de fotoativação, especialmente quanto à sua vida útil. Essa tecnologia teve um desenvolvimento marcante, especialmente quanto ao aumento gradativo da densidade de potência, ou seja, de 50 a 100 mW/cm² de irradiância nos aparelhos de 1ª geração, para até 1500 mW/cm² nos de 3ª geração, aproximando-se dos aparelhos fotoativadores de arco de plasma e os de laser de argônio (2.000 mW/cm²). A intenção de tal propósito, pelos fabricantes de fontes de luz, era a de reduzir o tempo de fotoativação das resinas e, conseqüentemente, a hora clínica para a realização de restaurações pelos Cirurgiões-Dentistas. Entretanto, considerando que a densidade de potência dos aparelhos fotoativadores constitui-se num dos parâmetros com influência direta na cinética de polimerização, dever-se-ia também conceber os efeitos adversos de altas doses de irradiância fornecidas no processo de polimerização, especialmente em função da especificidade

composicional da ampla gama de formulações de resinas compostas disponíveis no mercado odontológico. De forma geral, quanto maior for a densidade de potência da fonte de luz, maior será a velocidade da reação inicial de polimerização, com formação abrupta de cadeias poliméricas e maior densidade de ligações cruzadas e, adversamente, afetando de certa forma o grau de conversão pela presença de grupos pendentes na matriz polimérica (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005). Ademais, essa rápida indução pode implicar numa maior tensão durante a contração de polimerização e com menor potencial viscoelástico da resina composta devido à redução da fase pré-gel de polimerização, cujo estresse na interface adesiva está diretamente relacionado ao fluxo de escoamento e dissipação das tensões geradas durante a contração de polimerização das diferentes formulações de resinas compostas (KLEVERLAAN; FEILZER, 2005). Por outro lado, à medida que se diminui a irradiância ou densidade de potência da fonte de luz ocorre, proporcionalmente, a indução de cadeias poliméricas de forma linear e menor quantidade de ligações cruzadas, favorecendo o escoamento viscoelástico do material, decorrente de uma maior fase pré-gel e resultando em maior relaxamento das tensões geradas durante a contração de polimerização. A irradiação de uma resina composta com uma fonte de luz com baixa densidade de potência (100 a 300 mW/cm²), sem definição de uma dose de energia adequada, proporcionaria uma menor quantidade de fótons para a sensibilização dos fotoiniciadores, podendo promover uma polimerização inadequada, com maior suscetibilidade à degradação (hidrolítica, solubilidade, alteração de cor, rugosidade superficial) (PEARSON; LONGMAN, 1989; YAZICI *et al.*, 2007; DIETSCHI *et al.*, 1994) quando em contato com fluidos salivares, bebidas ou alimentos pigmentantes, e em um polímero supostamente mais frágil ao desgaste (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001).

Esse aspecto implica em um paradoxo ao Cirurgião-Dentista, ou seja, o de utilizar aparelhos com alta densidade de potência para promover a polimerização de resinas compostas e a incerteza dos efeitos subsequentes da maior indução de contração de polimerização. Ou de utilizar aparelhos com menor irradiância para minimizar a contração do material restaurador, mas ter a indefinição quanto às propriedades do polímero formado. Considerando as evidências da literatura específica, a avaliação da porcentagem da contração volumétrica de polimerização não deve, *per si*, ser tomada como parâmetro único para a definição da densidade

de potência a ser concedida durante a polimerização de um material restaurador fotossensível, pois haveria a tendência de se utilizarem menores densidades de potência sem considerar, entretanto, o ponto crítico para definir a dose de energia ideal para consignar a fotoativação. De forma geral, os fabricantes de resinas compostas indicam unicamente o tempo de fotoativação, 20 a 40 segundos, na dependência do matiz e cromaticidade do material. Considerando que os Cirurgiões-Dentistas dispõem de fontes de luz com diferentes densidades de potência, não pode ser concebido um mesmo tempo de fotoativação com os respectivos aparelhos, não obstante RUEGGEBERG et al., 1993 e SUH, 1999, terem sugerido a necessidade de indicação da dose ideal de energia (densidade de potência x tempo de exposição) pelos fabricantes de resinas compostas, ou seja, a identidade da densidade de energia necessária no rótulo do produto, assim como dos fabricantes de fontes de luz indicarem a densidade de potência, comprimento de onda e faixa espectral de seus aparelhos.

2 Revisão de Literatura

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O conceito de densidade de potência e energia

O tempo de exposição, a intensidade ou densidade de potência da luz e o comprimento de onda são fatores que podem interferir na polimerização das resinas compostas (RUEGGEBERG *et al.*, 1993; RUYTER, 1985). A densidade de potência de um aparelho de luz se define pela quantidade de fótons emitidos (mW/cm^2) (FRANCO; LOPES, 2003), sendo importante ressaltar que a energia de um fóton isolado está relacionada com a sua localização no espectro eletromagnético que se refere ao comprimento de onda (NAGEL, 1999). Este, por sua vez, pode ser definido como a distância percorrida por uma energia emitida por luz em um período cíclico. Uma vez que toda energia do espectro eletromagnético se encontra na velocidade da luz, o que poderá alterar o valor do comprimento de onda de uma determinada energia será sua frequência. A faixa de interesse para a fotoativação das resinas compostas corresponde à faixa de luz azul do espectro visível entre 400 e 500 nm. É importante ressaltar que o processo pelo qual ocorre a polimerização tem uma relação direta com a intensidade de luz, sendo que quanto maior a quantidade de fótons que atingem a resina composta, maior o número de radicais livres, que iniciarão a reação. Dessa forma, a densidade de potência é o fator-chave para a porcentagem de conversão dos monômeros e para a velocidade em que ocorre a conversão (RUEGGEBERG, 1999).

A densidade de energia (E) pode ser definida pelo produto da densidade de potência (DP) do aparelho fotoativador com o tempo de exposição (T), ou seja, $E = DP \times T$. Tem-se utilizado o termo densidade de energia, relacionando-se a um tipo de resina composta, graças à possibilidade de identificar cada resina composta conforme a quantidade de energia necessária (E) para que haja de uma ativação uniforme em uma determinada espessura. Assim existe a intenção de que as resinas compostas contenham a informação do valor de energia mínima para sua fotoativação (FRANCO; LOPES, 2003).

2.2 Cinética de polimerização

Na formulação das resinas compostas fotoativáveis, há um sistema fotoiniciador que consiste de uma molécula fotossensível, comumente a canforoquinona combinada a uma amina terciária, como doadora de prótons (TAIRA *et al.*, 1988), frequentemente a dimetilaminoetilmetacrilato – DMAEMA (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1998; PEUTZFELDT, 1997). A reação de polimerização das resinas compostas se dá a partir do contato com uma energia luminosa (FRANCO; LOPES, 2003). No momento em que o material é exposto à luz, a molécula fotossensível passa de um estado estável (singlet) para um estado excitado (triplet) com meia-vida bastante curta. Neste estado, ela é capaz de abstrair um próton do coiniador, a amina terciária, para formar um radical livre que dará início à quebra das duplas ligações carbônicas e à formação das cadeias poliméricas (NEUMANN *et al.*, 2005; NEUMANN *et al.*, 2006). Por meio dessa reação, as cadeias poliméricas vão sendo gradativamente estruturadas em uma rede tridimensional formada por ligações intermoleculares que podem ser do tipo linear ou cruzadas (PEUTZFELDT, 1997; RUEGGEBERG; CAUGHMAN; CURTIS, 1994).

A reação de polimerização apresenta alguns estágios ou fases que são definidos pela cinética da reação. Inicialmente a oferta de monômeros livres ao redor dos centros de iniciação da polimerização é grande (favorecendo a propagação e a terminação das cadeias). Conforme a reação progride, a viscosidade do material aumenta, havendo uma grande quantidade de monômeros livres próximos aos radicais ainda disponíveis para reagir (reduzindo a possibilidade de terminação das cadeias e favorecendo a propagação), levando a reação ao que se denomina fase de autoaceleração. A partir do aumento da viscosidade do material com a polimerização, a capacidade de difusão das moléculas no meio diminui (controlando a propagação da cadeia). Isso, associado à menor oferta de monômeros próximos à extremidade reativa do radical livre, leva a reação à outra fase denominada desaceleração. A partir de então, as taxas de polimerização declinam até aproximar-se de zero (DICKENS *et al.*, 2003; LOVELL; NEWMAN; BOWMAN, 1999), os radicais livres ficam aprisionados na rede polimérica até decaírem para um estado de menor energia e tornarem-se inativos (BURTSCHER, 1993).

Durante essa reação, e concomitantemente às fases descritas, duas etapas de grande interesse podem ser definidas: a fase pré-gel e a fase pós-gel. Com proposto didático, define-se o instante no qual se verifica a mudança de uma fase para outra como ponto-gel (LIM et al., 2002), momento da reação em que a resina é transformada de uma pasta viscosa para um sólido rígido. Durante a fase pré-gel, o material apresenta um módulo elástico baixo, o que permite sofrer uma deformação permanente através do deslizamento das cadeias poliméricas que estão em formação, dissipando a tensão no interior do material (FEILZER; DE GEE; DAVIDSON, 1990;1993). A contração de polimerização que ocorre nesse momento é referida como contração pré-gel ou não rígida (BOWEN, 1967; DAVIDSON; DE GEE, 1984) e é passível de ser dissipada pelo rearranjo molecular das cadeias poliméricas formadas em posições mais estáveis, permitindo o alívio das tensões geradas através do escoamento do material (BOUSCHLICHER; RUEGGEBERG, 2000; LIM et al., 2002). Dessa forma, essa fase deveria perdurar pelo maior tempo possível durante a reação, pois uma grande proporção da contração volumétrica total ocorreria enquanto o material apresenta-se em um estado não rígido, e apenas uma pequena fração da contração efetivamente seria responsável pelo desenvolvimento de tensão na interface (DAUVILLER et al., 2000; FEILZER; DE GEE; DAVIDSON, 1990; TERRY; LEINFELDER, 2006; WATTS; HINDI, 1999). Por outro lado, após o ponto-gel ser alcançado, o módulo de elasticidade do material aumenta significativamente, diminuindo a mobilidade molecular, e a rigidez do polímero não permite mais uma deformação plástica suficiente para compensar a contração de polimerização (DAVIDSON; FEILZER, 1997), resultando no desenvolvimento de tensões que, a partir de agora, são transmitidas às estruturas dentais circunvizinhas (BRAGA; FERRACANE, 2004) e à interface adesiva entre a estrutura dental e o material restaurador (KINOMOTO; TORII, 1998).

2.3 Influência da formulação das resinas compostas nas propriedades do material

O início do desenvolvimento das resinas compostas ocorreu em 1963 com Bowen que, a partir da combinação das resinas acrílicas com as resinas epóxicas, desenvolveu um novo monômero resinoso, o bisfenol glicidil dimetacrilato (BisGMA) (BOWEN, 1963). Foi adicionado a esse monômero partículas de quartzo silanizadas para proporcionar uma diminuição radical da contração de polimerização, expansão térmica e sorção de água, ao mesmo tempo em que aumentou o módulo de elasticidade e a dureza de superfície (BOWEN, 1963). O monômero BisGMA, ou resina de Bowen, é o monômero mais utilizado em odontologia e caracteriza-se por apresentar um extenso comprimento da cadeia molecular, o que diminui a contração de polimerização. Além disso, uma estrutura aromática no centro da molécula confere rigidez à massa resultante (PEUTZFELDT, 1997). Sua alta viscosidade torna necessária a associação com monômeros de menor peso molecular, como os diluentes etileno glicol dimetacrilato (EGDMA) e o trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA), para possibilitar a incorporação dos iniciadores, inibidores e partículas de carga (RUEGGEBERG, 2002).

O TEGDMA é o diluente de utilização mais comum (DICKENS et al., 2003; SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002) e apresenta-se como uma molécula linear relativamente flexível a qual, assim como o BisGMA, possui ligações insaturadas de carbono nas duas extremidades. Funciona não somente como um diluente, mas também como um agente de ligação cruzada, melhorando a polimerização do monômero e as propriedades físicas da resina (PEUTZFELDT, 1997). Entretanto seu baixo peso molecular aumenta a contração de polimerização da mistura (ATAI; WATTS, 2006; FLOYD; DICKENS, 2006). Por esse motivo, outros monômeros de baixa viscosidade, porém com alto peso molecular, como o UDMA (metacrilato de dimetil uretano) e o BisEMA (metacrilato etoxilado de bisfenol A) vêm sendo utilizados em diversas formulações comerciais. O UDMA apresenta peso molecular próximo ao BisGMA, porém baixa viscosidade, podendo ser utilizado sem a necessidade de se adicionar um diluente. (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1998; SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002). Já o BisEMA apresenta

viscosidade muito inferior à do BisGMA, devido a ausência dos radicais hidroxilas, não possibilitando o estabelecimento de pontes de hidrogênio entre os monômeros (DICKENS et al., 2003).

A maior ou menor concentração de BisGMA presente nas resinas compostas tem influência decisiva nas suas propriedades (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1998). Devido ao seu alto peso molecular, sua rigidez estrutural e principalmente pela presença de radicais hidroxilas, é um componente altamente viscoso (DICKENS et al., 2003), e a sua capacidade de formar pontes de hidrogênio o leva a atingir o estágio de autoaceleração muito rapidamente, uma vez que em sistemas com maior viscosidade a limitação de movimentação dos macrorradicais ocorre em menor tempo (ATAI; WATTS, 2006; SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002). Da mesma forma, rapidamente se forma uma densa rede polimérica que limita a propagação da reação, iniciando sua desaceleração. Como consequência, misturas ricas em BisGMA apresentam fases pré-gel e pré-vitrificação curtas (FEILZER; DAUVILLIER, 2003), havendo uma tendência de diminuição no grau de conversão do material (ASMUSSEN, 1982; RUYTER; SVENDSEN, 1978; RUYTER; OYSAED, 1987), graças à quantidade de monômeros residuais após a fotoativação, que também aumentará (FERRACANE; GREENER, 1986; PEUTZFELDT, 1997), e menor grau de conversão final (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2002; FLOYD; DICKENS, 2006; MUSANJE; FERRACANE, 2004; SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002). Porém, com o aumento da concentração desse monômero, a densidade de ligações cruzadas será maior, diminuindo a sorção de água (PEUTZFELDT, 1997; STANSBURY; DICKENS, 2001).

O TEGDMA, por outro lado, apresenta menor viscosidade e peso molecular, atingindo os estágios de autoaceleração e autodesaceleração em graus de conversão relativamente mais altos. Assim, resinas compostas ricas em TEGDMA tendem a apresentar maior escoamento devido ao prolongamento das fases pré-gel e pré-vitrificação (FEILZER; DAUVILLIER, 2003), além de atingirem graus de conversão mais elevados (ATAI; WATTS, 2006). Apesar da semelhança estrutural com o BisGMA, o monômero BisEMA não forma pontes de hidrogênio, permitindo uma maior mobilidade das espécies reativas em relação ao BisGMA (DICKENS et al., 2003), o que retarda a ocorrência de autoaceleração. Porém seu alto peso molecular e a rigidez estrutural da molécula levam-no a atingir o estado de

autodesaceleração em grau de conversão inferior ao do monômero TEGDMA, resultando em menor conversão final do material (SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002). Estudos tentam delimitar a influência da proporção dos diferentes monômeros na composição final de uma resina composta e observa-se que a quantidade incorporada de diluentes acarretará em características de maior ou menor viscosidade, alterando o módulo de elasticidade final do material.

Sendo a matriz orgânica a responsável pela polimerização do material, e consequentemente pela contração de polimerização, quanto menor a porcentagem em carga em uma resina composta, maior será a quantidade de matriz orgânica e, consequentemente, maior a contração de polimerização (LAMBRECHTS, BRAEM, VANHERLE, 1987). Por outro lado, um material que apresenta maior incorporação de partículas inorgânicas determina um compósito mais rígido, com alto módulo de elasticidade, e quanto maior o módulo de elasticidade menor o poder de fluxo ou de escoamento durante a polimerização (SUH, 1999).

2.4 Influência das densidades de potência nas propriedades das resinas compostas

A densidade de potência de um aparelho fotoativador exerce influência decisiva sobre as características finais de uma resina composta, dentre elas o grau de conversão e a contração de polimerização. Um ótimo grau de conversão e a mínima contração de polimerização são geralmente objetivos almejados, porém, completamente antagônicos (TARLE et al., 1998), pois quanto maior a conversão de monômeros em polímeros, maior será a contração de polimerização (FRANCO; LOPES, 2003).

A aplicação de altas densidades de potência é comumente utilizada tendo em vista que é associada à melhora nas propriedades mecânicas do material. Entretanto, deve-se considerar a possibilidade negativa da alta intensidade de luz no desenvolvimento das tensões de contração bem como na limitação do relaxamento das tensões da mesma (MEHL, HICKEL, KUNZELMANN, 1997; UNTERBRINK;

MUESSNEER, 1995). Isto porque se sabe que a ação desta sobre a resina composta propicia uma rápida reação de polimerização, significando que ocorrerá uma passagem instantânea de um estado menos viscoso, pré-gel, para um estado rígido, pós-gel, de forma a aumentar rapidamente o módulo de elasticidade e reduzir a possibilidade de alívio das tensões de contração (MEHL, HICKEL, KUNZELMANN, 1997; SAKAGUCHI et al., 1991; SAKAGUCHI et al., 1992). Dessa forma, o período pré-gel, fase em que a resina consegue aliviar as tensões de contração, será muito pequeno. Após o desenvolvimento da rigidez da resina, fase pós-gel, verificar-se-á uma grande redução no escoamento deste polímero, devido à dificuldade de ocorrer rearranjo das moléculas (DAVIDSON; DE GEE, 1984; SAKAGUCHI et al., 1991; UNTERBRINK, MUESSNEER, 1995).

De forma contrária, se for aplicada uma baixa densidade de potência, haverá um prolongamento da fase pré-gel, fazendo com que a reação ocorra mais lentamente, favorecendo o rearranjo das moléculas, com vistas a um melhor escoamento das tensões provindas da contração de polimerização. Entretanto, o uso de baixas densidades de potência pode resultar em materiais subpolimerizados, o que implicaria em propriedades físicas e mecânicas insatisfatórias.

Dentro desse cenário, trabalhos têm sido realizados a fim de se elucidar a relação entre as densidades de potência ou energia e a tensão de contração de polimerização e estrutura polimérica formada.

2.5 Tensão de contração de polimerização

Feilzer, De Gee e Davidson, em 1990, descreveram sobre o mecanismo de contração de polimerização enfatizando que as tensões produzidas são diminuídas pelo fluxo do material e, se houver uma transposição do limite elástico, pode ocorrer uma deformação plástica. Registram, também, que durante a fase inicial da reação de polimerização, a rede polimérica ainda é fraca, e as tensões ocorridas neste momento não promovem prejuízos nem à estrutura interna da resina nem à união adesiva, uma vez que as moléculas ainda têm a possibilidade de se movimentar

para novas posições e orientações. Esse tipo de movimentação é caracterizado como escoamento ou fluxo do material, o qual é reduzido significativamente com o passar do tempo, especialmente pelo aumento da rigidez. Isso, segundo os autores, resulta em sérios problemas para a manutenção da união adesiva, justamente pelo fato de as tensões aumentarem com o tempo e o material não poder compensá-lo com o escoamento. A partir daí, propuseram determinar e quantificar a redução das tensões pelo escoamento em configurações cavitárias (“Fator C”) de 0,5; 2,0; 2,5 e 5,0, para quatro resinas compostas, P10, Silar, Brilhant e Clearfil Posterior. Diante dos dados obtidos, observou-se que em nenhuma das resinas testadas em configuração cavitária de 0,5, as tensões de contração excederam os valores de resistência de união à dentina. Quanto à redução das tensões pelo escoamento, verificou-se que esta ocorreu em função do fator de configuração e pelo tipo de material. Para amostras da resina P10, com “Fator C” = 0,5, verificou-se um alívio de 71% das tensões de contração, enquanto para o “Fator C” = 2 foi de apenas 35%. Nas amostras com “Fator C”, de 2,5 e 5, a redução das tensões pelo escoamento não foi alta o bastante (24% e insignificante, respectivamente) para prevenir fraturas, uma vez que a capacidade de escoamento foi excedida. Concluíram que a redução das tensões pelo escoamento e a capacidade de fluxo estão em função do material e da configuração cavitária, e que este escoamento contribui grandemente para a redução das tensões de contração em restaurações com baixo “Fator C” e insuficientemente em situações com alto “Fator C”.

Davidson e Feilzer (1997) revisaram os métodos para determinar a contração e tensão de contração de polimerização, além dos efeitos clínicos dessas forças nos materiais restauradores adesivos. A polimerização da resina gera uma contração que é dependente da viscosidade do material e das características do preparo cavitário. Vários métodos para determinar a contração de polimerização volumétrica têm sido relatados na literatura odontológica, onde o mais comum é o dinamômetro com água ou mercúrio. Dependendo do material, os valores da contração de polimerização livre variam de cerca de 4,0 a 9,0% em volume para resinas sem carga e aproximadamente 1,0 a 5,0% em volume para os compósitos resinosos e alguns cimentos. A tensão de contração ocorre quando a contração é impedida e o material é rígido suficiente para resistir à deformação plástica para compensar o volume original. A magnitude da tensão de contração depende não apenas da

resistência das estruturas circundantes, mas também da natureza do material, notavelmente suas propriedades viscoelásticas, em determinado valor de contração, em que o material mais rígido irá causar maior tensão. No dispositivo mais comum utilizado para testar a tensão de contração de polimerização, a amostra do compósito resinoso é colocada entre duas superfícies adesivas opostas que são conectadas à célula de carga e ao tensiômetro. Porém, erros podem ocorrer se a complacência do dispositivo de teste não for considerada. Outro importante fator que pode influenciar o resultado dos testes é a adesão da amostra à superfície adesiva. Caso não haja uma adesão química, tensões reduzidas podem ser registradas devido ao aumento da possibilidade de escoamento do material. Relataram que os efeitos da contração de polimerização podem ser minimizados mediante a utilização de bases cavitárias e pela modulação da fotoativação. Adicionalmente, há uma relação direta entre fator C e desenvolvimento das tensões, ou seja, quanto maior esse fator, maior o desenvolvimento das tensões. A liberação de tensões pode ser obtida com técnicas que envolvem a configuração do preparo cavitário (fator C), o preenchimento da cavidade e a modulação do início da polimerização. Comentou-se que o emprego de uma base cavitária com um material de baixo módulo de elasticidade, como o cimento de ionômero de vidro, contribuiria para a distribuição mais homogênea dessas tensões. A redução da intensidade de luz inicial proporcionaria uma lenta reação de polimerização do material, permitindo um melhor escoamento do mesmo e, conseqüentemente, uma melhor integridade marginal. Os autores concluíram que um método para manipular materiais restauradores adesivos, que garanta uma restauração sem infiltração, ainda não foi desenvolvido e que apenas o bom entendimento dos mecanismos que causam esses problemas e das técnicas que podem reduzir seus efeitos pode permitir o aproveitamento máximo dos benefícios dos materiais resinosos.

Em 1999, com o intuito de esclarecer os tipos de aparelho fotoativadores que eram comercializados no mercado, Rueggeberg descreveu detalhadamente os fatores relacionados ao entendimento do processo de polimerização. Este utiliza luz azul como ativador da canforoquinona, caracterizado por absorver luz na faixa de 450 a 500 nm, com pico em 465nm, quando se torna reativa, sendo que a adição de grupamentos amina acelera o processo pela formação de radicais livres que formam ligações covalentes com as moléculas de dupla ligação carbônica dos monômeros,

ocasionando uma reação em cadeia, polimerizando o material. Descreveu-se, ainda, o processo pelo qual ocorre o processo de polimerização e a relação com a intensidade de luz, sendo que quanto maior a quantidade de fótons atingindo a resina composta, maior o número de radicais livres, sendo que a densidade de potência seria o fator-chave para a porcentagem de conversão. Além disso, descreveu-se o conceito de profundidade de polimerização devido à atenuação da luz que ocorre em direção à profundidade do material pela absorção e dispersão de luz, sendo que cerca de 50 % de energia se perde numa espessura de 0,5 mm em uma resina composta de cor A2. A diminuição da intensidade de luz, à medida que a profundidade do material aumenta, constitui um problema que deve ser compensado com um aumento da duração da exposição da resina à luz ou com aumento da intensidade de luz para maior excitação das moléculas. Relatou, ainda, que os metacrilatos utilizados na composição dos materiais à base de resina sofrem contração de polimerização; para cada molécula $C=C$ reagindo e formando uma ligação simples ($C-C$), existem 23 cc de contração. Com a adição de maior quantidade de carga às resinas, os fabricantes reduziram a contração volumétrica para 1,5 a 3% que ainda podem resultar em estresse às paredes cavitárias levando a fendas marginais e fraturas do esmalte com a consequente sensibilidade pós-operatória. Afirmou que, durante a fase inicial de polimerização, em que os polímeros encontram-se ainda flexíveis e em estado fluido, o estresse da contração pode ser aliviado pelo escoamento da resina e não há transmissão do estresse para a interface dente/resina. Quando o polímero apresentar a estrutura mais rígida (maior módulo de elasticidade), o estresse atinge a estrutura dental. O ponto no qual o polímero adquire um maior módulo de elasticidade e pode transferir o estresse para a interface dente/resina é chamado de ponto gel. O estresse desenvolvido durante a polimerização pode ser minimizado considerando a proporção entre as superfícies aderidas e não aderidas – quando a proporção aumenta, como nos casos das cavidades classe I e V, o polímero tem pouca superfície para escoar e, consequentemente, o estresse aumenta. No caso de cavidades classe II e IV, o estresse é reduzido, pois não existe muita diferença entre as superfícies aderidas e as superfícies livres, proporção essa que tem sido chamada de fator de configuração ou “Fator C”. Afirmou, ainda, que diminuindo a intensidade de luz nos instantes iniciais da polimerização, esta ocorre lentamente, gerando menor valor de estresse pelo maior tempo que o material tem para escoar – técnica conhecida como *soft-*

start. Quando o material atinge o estado gel, é submetido a altas intensidades de luz, garantindo grau de conversão equivalente ao obtido com a técnica convencional. Afirmou ainda que, com a polimerização ocorrendo mais lentamente, as propriedades físicas dos polímeros são melhoradas, pois cadeias mais longas e com maior peso molecular são obtidas. Mencionou-se que os clínicos estão enfrentando problemas devido ao fato de que nem todos os aparelhos fotoativadores são capazes de polimerizar as diferentes marcas comerciais de resina, por conterem diferentes fotoiniciadores que não a canforoquinona. Assim, descreveram-se as diferentes fontes de luz fotoativadoras: a fonte de luz com lâmpada halógena corresponde ao aparelho mais comumente utilizado, apresentando um amplo espectro de luz com variada densidade de potência, que se reduz ao longo do tempo. O aparelho com arco de plasma, que foi lançado no mercado no início dos anos 90, apresenta uma altíssima densidade de potência com amplo espectro, inclusive na região de ultravioleta e infravermelho, sendo que filtros são utilizados para permitir emissão na região visível do espectro. Descreveu-se, ainda, a utilização de aparelho com laser com o intuito de fotoativar resinas compostas. Concluiu-se que o aparelho ideal a se utilizar para a polimerização de uma resina composta permanece ainda sem esclarecimento, sendo que estudos são necessários para a avaliação da qualidade e durabilidade dos polímeros formados, a integridade da interface marginal e ainda o impacto das altas temperaturas geradas com os diferentes aparelhos em termos de resposta pulpar.

Em uma revisão de literatura realizada por Davidson e de Gee, em 2000, observou-se que a ativação da canforoquinona, o iniciador mais comumente presente nas resinas compostas, é de suma importância para o início da reação de polimerização do material, desde que a irradiação seja feita em um comprimento de onda de 470 nm. No entanto, para uma adequada conversão da resina é necessária certa quantidade de energia, a qual pode ser aplicada de diferentes formas, sendo dependente das características da fonte de luz e da duração da exposição. Uma completa conversão pode não ser possível nas áreas mais profundas da restauração, principalmente se aparecerem defeitos em algum componente da lâmpada, risco que pode ser minimizado prolongando-se o tempo de exposição à luz. Enfatizaram que a conversão da resina composta está sempre associada à contração do material, contudo uma forma de moderar as tensões provenientes da

mesma é a utilização da fotoativação com baixa seguida de alta intensidade de luz, cuja técnica pode ser aplicada com aparelhos fotoativadores existentes no mercado, como o Elipar (Espe) e o VIP (Bisco). Fontes de luz arco de plasma, como o Apollo 95E, também são citadas por irradiarem alta intensidade de luz contínua, em um estreito comprimento de onda e por um curto tempo de exposição. O emprego de alta intensidade de luz inicial gera uma rápida contração da resina, a qual pode afetar negativamente a integridade marginal das restaurações. Assim, os autores consideraram que é necessário o entendimento dos possíveis efeitos da intensidade de luz sobre a geração das tensões de contração e que uma maior qualidade marginal pode ser obtida através do uso de bases cavitárias que absorvam essas tensões e da utilização da técnica de fotoativação gradual.

Em 2000, Davidson relatou os aspectos envolvidos no desenvolvimento das tensões de contração de polimerização em materiais restauradores resinosos. Aspectos a respeito da energia de ativação, das fontes e intensidades de luz, a profundidade de polimerização e da composição do material foram discutidos. Compósitos à base de resina contraem durante a polimerização causando tensões no dente restaurado e o melhor grau de conversão do compósito pode resultar em descontinuidade marginal. Duas alternativas são propostas para controlar as tensões: modulação da energia da luz com intuito de promover a fluidez e a incorporação de flexibilidade para permitir a complacência da contração, alternativas estas dependentes da fonte de luz e do tempo de irradiação. Na Odontologia, pouco tempo de irradiação em combinação com grau de conversão maior e uniforme com baixa tensão de contração de polimerização são desejados. A rápida conversão dos monômeros é proporcionalmente acompanhada de rápido enrijecimento, restringindo a capacidade de fluidez do material e podendo afetar negativamente a integridade marginal da restauração adesiva. O tempo prolongado de irradiação com níveis de energia moderados tem-se mostrado mais efetivo para a conversão apropriada e para o controle da tensão do que alta intensidade de energia. A tensão gerada pela contração de polimerização pode ser controlada pela configuração da cavidade, seleção do material e controle do início da reação. Concluiu-se que a qualidade marginal da restauração pode ser mais eficientemente controlada pela seleção do material do que pela manipulação da energia utilizada durante a fotoativação.

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

No ano de 2003, Asmussen e Peutzfeldt avaliaram a estrutura polimérica de uma resina composta em relação à distância do fotoativador à superfície irradiada. Para a execução do experimento, foram confeccionados dez cilindros (4 X 8 mm) de resina composta (Point 4 – Kerr) fotoativados por 40 s com densidade de potência de 580 mw/cm². Após uma semana de armazenamento em ambiente escuro a 37°C, os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de dureza Wallace (DW), que mede a profundidade de penetração de um diamante Vickers sob uma determinada carga. Quanto maior o valor de DW, mais macio é o material. Cada corpo-de-prova foi avaliado a cada 0,5 mm de profundidade até completar os 4mm, altura total. As amostras foram colocadas em álcool absoluto por 24hs, e os valores de DW foram mensurados novamente nas mesmas condições. Após o armazenamento em álcool, os valores de DW tiveram aumentos estatisticamente significantes em comparação com os valores iniciais, verificando-se o efeito de amolecimento do álcool. Em ambos os grupos de medidas, os valores de DW encontrados em 4 mm de profundidade foram estatisticamente superiores aos valores determinados na superfície irradiada. No grupo álcool, os valores de DW obtidos em 3 e 3,5 mm foram

agrupados, da mesma forma as mensurações obtidas em 0,5 a 2,5 mm também foram agrupadas. No subgrupo de 0,5 a 2,5 mm, a média de aumento da DW, como consequência do armazenamento em etanol, foi de $1,4 \pm 0,9$ lm, e no subgrupo de 3,0 e 3,5 mm o aumento foi de $2,4 \pm 0,9$ lm, havendo diferença estatisticamente significativa entre estes dois subgrupos. Porém, quando se comparou este último subgrupo com as medidas de aumento obtidas em 4 mm de profundidade ($3,0 \pm 1,4$ lm), não houve diferença estatisticamente significativa. A dureza Wallace está intimamente relacionada com o grau de conversão. Assim pode-se supor que há o mesmo grau de conversão entre 0,5 e 3,5 mm, enquanto que em 4 mm a conversão foi menor. A maior suscetibilidade ao amolecimento do subgrupo de 3,0 e 3,5 mm pode ser associada a uma estrutura menos reticulada: as camadas mais profundas da resina composta foram polimerizadas em uma taxa mais baixa que as camadas mais próximas da superfície irradiada. A reduzida taxa de polimerização pode levar a um polímero mais linear devido à formação de poucos centros de crescimento. Quando uma taxa superior de polimerização causada por uma maior densidade de potência é utilizada, uma multiplicidade de centros de crescimento são formados, levando a uma estrutura polimérica mais ramificada e reticulada.

Em 2003, Emani, Söderholm e Berglund realizaram um estudo para testar a hipótese de que a fotoativação com baixas intensidades de luz e longos períodos de exposição pode produzir compósitos com contração volumétrica, grau de conversão e módulo de Young comparáveis aos compósitos polimerizáveis com altas densidades de potência. As resinas Filtek Z100 e Filtek Z250 foram selecionadas e fotoativadas com densidades de potência de 200, 450 e 800 mW/cm² durante 140, 60 e 35 s, respectivamente. As tensões de contração foram avaliadas utilizando extensômetros, o grau de conversão foi mensurado na superfície de topo e em 4 mm de espessura utilizando a espectroscopia FT-Raman e o módulo de elasticidade foi determinado pela tensão nas amostras. O estresse de polimerização diminuiu significativamente quando fotoativadas com a menor densidade de potência. Além disso, o nível de tensão gerada pela resina Z250 é significativamente menor que o da resina Z100. Os aumentos de temperatura apresentaram diferenças estatísticas significantes para os diferentes compósitos e valores de intensidade de luz. A redução da intensidade de luz não diminuiu significativamente os valores do grau de conversão nas superfícies de topo. As maiores diferenças foram encontradas entre

as superfícies de topo e base, entre os diferentes grupos de polimerização. Também entre esses grupos os valores de contração volumétrica e módulo de elasticidade não foram estatisticamente diferentes. Os resultados desse estudo sustentam a hipótese de que uma determinada densidade de energia, ao invés de uma alta densidade de potência, pode resultar na otimização do desempenho de compósitos odontológicos. Um ótimo grau de conversão pode ser alcançado por uma menor densidade de potência, se o tempo de polimerização for suficiente. Além disso, as diferentes composições dos materiais também é uma variável importante a ser considerada.

Para verificar a relação entre a tensão de contração e o grau de conversão Calheiros et al. em 2004 selecionaram em compósitos híbridos (Z250 e Tetric Ceram) e microparticulados (A110 e Heliomolar). Para cada compósito, tanto no teste de tensão como na análise do grau de conversão, foram constituídos cinco grupos variando-se o tempo de irradiação, a fim de se obter diferentes níveis de densidade de energia (4,8; 13,5; 27,0; 54,0 e 108,0 J/cm²). Foram registrados os valores de tensão máxima e de grau de conversão observados no período de 10 minutos, contados a partir do início da fotoativação. Para os valores de tensão de contração, a interação compósito x densidade de energia foi significativa. Os valores de tensão de contração para o compósito A110 variaram entre 1,2 e 7,0 MPa, para o Heliomolar entre 0,6 e 6,6 MPa, para o compósito Tetric Ceram entre 1,3 e 8,1 MPa e para o Z250 entre 2,0 e 6,6 MPa. Em geral, valores de tensão maiores foram observados nos níveis de densidade de energia mais elevados. Para o compósito A110 4,8<13,5<27,0<54,0=108,0 J/cm². Para o compósito Heliomolar todos os níveis foram diferentes exceto entre 27,0 e 54,0 J/cm². O compósito Tetric Ceram apresentou 4,8<13,5<27,0<54,0=108,0 J/cm² enquanto o compósito Z250 obteve 4,8=13,5<27,0=54,0<108,0 J/cm². O grau de conversão foi influenciado pelo compósito (A110: 24% = Heliomolar: 28% = Z250: 32% < Tetric: 39%) e pela densidade de energia. As densidades de energia de 27,0 (33%); 54,0 (35%) e 108,0 (36%) J/cm² forneceram graus de conversão estatisticamente semelhantes, o mesmo ocorrendo entre 4,8 (23%) e 13,5 (26%) J/cm² e entre 13,5 e 27,0 J/cm². Os resultados mostraram, ainda, que existe uma relação não linear entre a tensão de contração e o grau de conversão de compósitos restauradores. Pode-se concluir que densidades de energia elevadas não necessariamente contribuem para um aumento

significante no grau de conversão, mas podem acentuar o desenvolvimento de tensões de contração.

Braga e Ferracane, em 2004, realizaram uma pesquisa buscando alternativas no controle do estresse de contração de polimerização, tendo em vista que a magnitude do estresse depende da composição do composto (conteúdo inorgânico e composição da matriz) e sua capacidade de fluxo antes de geleificação, a qual está relacionada à configuração da cavidade e características de polimerização do compósito. Esse trabalho analisou as variações entre os estudos sobre os métodos de testes de estresse de contração e valores de estresse de contração de compósitos atuais. Discutiu a validade dos estudos de estresse de contração em relação aos resultados dos testes de infiltração, além dos efeitos das baixas taxas de polimerização e a utilização de técnicas alternativas de fotoativação nos valores de tensão de contração, e também o uso de materiais de forramento de baixo módulo de elasticidade. Estudos experimentais com compostos à base de dimetacrilato e os recentes desenvolvimentos em monômeros de baixa contração também foram descritos. Como conclusões do estudo, obtiveram que com a intensa atividade de pesquisa em torno desse assunto a maioria dos fatores envolvidos no desenvolvimento do estresse de contração já foram identificados, porém a contribuição individual que as propriedades físicas do compósito, como a contração volumétrica e o módulo de elasticidade, e a cinética de polimerização, como fator determinante do alívio do estresse através do fluxo de viscoso, e as possíveis interações entre eles, ainda não foram bem delimitadas. Algumas propostas de polimerização não contínua mostraram redução significativa no estresse de contração, no entanto, os testes que avaliaram a integridade da interface dente/restauração mostram resultados inconsistentes e, em alguns casos, a redução do estresse pode ser causada por um menor grau de conversão. A redução do estresse com o uso de materiais de forramento de baixo módulo de elasticidade, parece exigir materiais com rigidez próxima a de resinas sem carga, e a maioria das resinas flow disponíveis atualmente são demasiadamente rígidas para serem utilizadas para este fim. O desenvolvimento de monômeros de baixa contração, que poderia combinar outras propriedades clinicamente importantes, encontradas nos compósitos a base de Bis-GMA, é uma tarefa desafiadora.

A fim de estabelecer uma relação entre densidade de potência e densidade de energia na contração de polimerização, Asmussen e Peutzfeldt, em 2005, realizaram um estudo utilizando um compósito (Tetric Ceram - Ivoclar Vivadent) fotoativado com três diferentes densidades de energia, obtidas em seis diferentes níveis de densidade de potência. As diferentes densidades de potência (50, 100, 200, 400, 800 e 1.000 mW/cm²) foram obtidas pela variação da distância e da tensão de alimentação de uma unidade comercial de fotoativação. Os tempos de irradiação variaram entre 4 e 320 s, a fim de padronizar a densidade de energia em 4, 8 e 16 mJ/cm². A contração de polimerização do compósito foi registrada pelo método do disco de deflexão durante 1h após o início da irradiação. A distribuição espectral em cada densidade de potência foi gravada utilizando-se um espectrofotômetro. O espectro de absorção da canforoquinona também foi observado e a eficiência da radiação em cada densidade de potência através de cálculos de absorção e emissão ao longo comprimento de onda. A partir da inclinação das curvas de contração, uma aproximação para a taxa inicial de polimerização, RP, foi calculada e foi tomada como uma medida alternativa de densidade de potência. Observou-se que a contração de polimerização em 1 h variou entre 1,97 e 2,43%, havendo influência significativa da densidade de energia e da densidade de potência. Esse estudo mostrou que a contração de polimerização de um compósito não depende apenas da densidade de energia total, mas também da combinação de densidade de potência e tempo de exposição utilizado. Como conclusões, obteve-se que uma baixa taxa de polimerização pode ser benéfica para o selamento marginal em função de um menor acúmulo de estresse, entretanto, com a mesma densidade de energia, a contração de polimerização foi menor com o aumento da taxa de polimerização, demonstrando que a alta densidade de potência inicial pode ser menos prejudicial à integridade marginal do que previsto por alguns autores.

Peutzfeldt e Asmussen, no mesmo ano, realizaram a revisão dos resultados de trabalhos de contração de polimerização. Ao descrever do trabalho, detalharam que é bem documentado na literatura que a densidade de energia (densidade de potência x tempo de exposição) da fotoativação influencia a profundidade e grau de polimerização, além das propriedades mecânicas de um compósito. Assim, para um mesmo tempo de exposição, uma aumento da densidade de potência leva a uma polimerização melhor, assim como um aumento da duração de exposição, para a

mesma densidade de potência. As densidades de energia podem ser empregadas com diferentes combinações de densidade de potência e tempo. Resultados contraditórios e limitados têm sido publicados mostrando que o efeito da variação da densidade de potência e tempo pode ser inferido. Com base em mensurações do grau de polimerização, alguns autores (Halvorson et al., 2002) concluíram que existe uma relação recíproca entre a densidade de potência e o tempo de exposição. No entanto, uma análise mais profunda dos resultados revela um efeito estatisticamente significativo da combinação de densidade de potência e tempo de exposição para cada um dos quatro níveis de densidade de energia estudados. Além disso, para uma dada resina composta, diferentes modos de polimerização podem resultar em graus semelhantes de polimerização, mas em redes de polímeros que diferem entre si a respeito da densidade de ligações cruzadas e, assim, com respeito às propriedades mecânicas. A hipótese testada nesse estudo, portanto, era a de que o grau de polimerização, resistência à flexão e módulo de flexão seriam influenciados pela densidade de energia, bem como pela combinação de densidade de potência e duração da exposição. Os resultados obtidos demonstraram que a influência da combinação de densidade de potência e tempo de exposição, ocasionalmente resultavam em graus de polimerização e / ou propriedades mecânicas que foram significativamente inferiores aos obtidos com uma densidade de energia mais baixa. Um achado de interesse atual é que a alta densidade de potência utilizada para curtas exposições de tempo levou a menor grau de polimerização e menor resistência à flexão e módulo do que a polimerização com densidades de energia intermediárias, com maior tempo de duração. Utilizou-se um reostato para variar a tensão de entrada e, portanto, a densidade de potência. No entanto, a variação de tensão de entrada não só influencia o pico de intensidade (densidade de potência) mas também provoca uma mudança na distribuição espectral da luz emitida. Para a eficiência de um protocolo de polimerização, deve ser avaliado o espectro de emissão da luz, o qual deve estar relacionado com o espectro de absorção do fotoiniciador. Considerando-se o espectro de absorção do fotoiniciador e as mudanças na distribuição espectral, a eficiência na alta tensão pode ser sido um tanto subestimada nesse estudo. Isso implica em relegar a segundo plano que as densidades de energia obtidas através da multiplicação da densidade de potência e tempo de exposição são mais eficientes em altas densidades de energia. Outra limitação desse estudo é a tendência de fontes de luz de quartzo-tungstênio-

halogênio para diminuir gradualmente de densidade de potência em funcionamento (Halvorson et al., 2002). A queda gradual na densidade de potência teria maior consequência para longas durações que para curtas exposições, evidenciando que as densidades de energia calculadas para exposições de luz que usam exposições longas e de baixa densidade de potência podem ser um tanto superestimadas. No entanto, uma correção para qualquer efeito das limitações tenderia a acentuar a influência da combinação entre densidade de potência e tempo.

Em outra revisão de literatura, Ferracane, em 2005, abordou a origem das tensões de contração de polimerização dos compósitos resinosos, com breve descrição dos métodos usados para medi-las. Aspectos que podem influenciar e estratégias para minimizar o desenvolvimento dessas tensões também foram discutidos. Tem sido mostrado que o processo de polimerização envolve aumento da quantidade de calor e causa redução volumétrica à medida que as ligações covalentes são criadas e as distâncias entre as moléculas e o volume livre são reduzidos. A contração gerada durante a polimerização ocorre quando o material adquire rigidez com o crescimento das cadeias poliméricas, e isso produz tensões no material. O método mais usado para medir a tensão de contração de polimerização tem sido por meio de transdutor uniaxial. Análise fotoelástica, método de elementos finitos, *strain-gauge* e, mais recentemente, o método do disco aderido, também são usados para medir as tensões de contração de polimerização. Não existem dados que relacionem a tensão de contração de polimerização e o sucesso clínico dos compósitos odontológicos, devido à natureza complexa desses fatores. Apesar disso, os trabalhos têm relatado inúmeros fatores que podem afetar o desenvolvimento da tensão de contração de polimerização. Esses fatores podem ser separados em fatores dependentes da formulação do material (conteúdo de carga, química e estrutura dos monômeros, interações entre a carga e a matriz orgânica, presença de aditivos) e fatores relacionados à polimerização do material (taxa de polimerização, concentração de catalisadores e inibidores, condições de confinamento, fator C, método de ativação e polimerização, técnica de inserção). A natureza viscoelástica do compósito resinoso, ou seja, a capacidade de liberar as tensões geradas deve ser considerada. Várias estratégias envolvendo modificações desses fatores têm sido desenvolvidas e estudadas com a finalidade de reduzir a tensão resultante da contração de polimerização. Novos materiais com tensão

interna reduzida, resultante da baixa contração de polimerização estão sendo desenvolvidos e podem dominar o mercado antes do completo entendimento desse fenômeno.

Com o objetivo de estabelecer os fatores envolvidos no desenvolvimento do estresse da contração de polimerização em resinas compostas, Braga, Ballester e Ferracane, em 2005, realizaram uma revisão sistemática tendo em vista que esse estresse da contração de polimerização pode ter um impacto negativo sobre o desempenho clínico de restaurações adesivas. Observou-se, segundo a literatura, que a tensão de polimerização é determinada pela sua contração volumétrica, pelo comportamento viscoelástico e por restrições impostas pela contração de polimerização. Abordou-se sobre a magnitude da contração volumétrica sofrida por um composto, sendo esta determinada pela sua fração de volume de carga e da composição e pelo grau de conversão do material. Em compósitos híbridos, aproximadamente 60% do volume é ocupado por partículas de carga; em compósitos microparticulados, essa porcentagem cai para 40%. Porém, devido à presença de partículas pré-polimerizadas, os valores de contração são semelhantes para as duas resinas. Os valores de contração relatados devem ser considerados aproximados, porque são completamente dependentes da extensão da reação de polimerização. Isso torna a comparação de dados de diferentes estudos de contração uma proposição tênue, pois não é típico para os autores medir o grau de conversão, juntamente com a contração. Mostrou-se que a contração volumétrica dos compósitos é proporcional ao seu grau de conversão, este por sua vez é determinado pelo produto da irradiação de luz e o tempo de exposição. Como a taxa de cura é proporcional à raiz quadrada da intensidade de luz aplicada no composto, foi proposto que o método pelo qual a energia luminosa é aplicada pode ser capaz de retardar a aquisição de módulo de elasticidade, permitindo que as cadeias poliméricas possam se reorganizar e reduzir o volume por deformação plástica. A contração pós-gel ou rígida é a fração da contração volumétrica total responsável pelo desenvolvimento do estresse de contração. A taxa de reação rápida praticamente elimina o tempo permitido para fluxo viscoso, e estima-se que a matriz polimérica torna-se "rígida" em poucos segundos depois de um grau relativamente baixo de conversão. A redução do estresse de contração de polimerização, alterando a taxa de conversão, tem limitações. Um estudo avaliando

o efeito das baixas taxas de cura no desenvolvimento de estresse de contração em três resinas compostas encontrou reduções de estresse entre 19 e 30%. Evidências controversas em relação à qualidade da rede polimérica formada são encontradas utilizando aplicação de luz não contínua e a susceptibilidade a degradação. Os autores têm sugerido que o uso de baixas irradiâncias gera um pequeno número de radicais livres, resultando em cadeias poliméricas com baixa densidade de ligações cruzadas. Observações inéditas sugerem que esse efeito negativo não é causado por si só, pela irradiância inicial baixa, mas pela associação de uma polimerização lenta, com uma aplicação de energia total relativamente baixa. Como conclusões, obteve-se que a contração volumétrica não deve ser o único parâmetro para prever o comportamento da resina composta em relação ao desenvolvimento de estresse. Materiais com contração relativamente baixa, devido ao alto conteúdo de carga inorgânica também apresentam um alto módulo de elasticidade, o que pode resultar em aumento do estresse de contração. A redução da taxa de polimerização, devido à utilização de métodos alternativos, não leva necessariamente a uma redução significativa da tensão. Além disso, um protocolo de fotoativação, em particular, não pode ser eficiente com compósitos diferentes. A redução do estresse não pode ser alcançada em detrimento do adequado grau de conversão. Alterar a configuração cavitária pela aplicação de uma camada de material com baixo módulo de elasticidade pode conduzir a um significativo alívio de estresse dependendo da sua espessura e módulo de elasticidade. Algumas resinas “flow” podem ser demasiadamente duras para serem utilizadas com sucesso com essa finalidade. Sendo assim, o desenvolvimento do estresse de contração de polimerização deve ser considerado um fenômeno multifatorial, e determinar a contribuição específica que cada um dos fatores (contração volumétrica, comportamento viscoelástico, cinética de reação e condições do preparo cavitário) pode afetar parece ser impraticável.

Em busca de avaliar a contração de polimerização, a tensão de contração, módulo de elasticidade e o fluxo de escoamento, Kleverlaand e Feilzer, em 2005, realizaram um estudo com 17 resinas compostas disponíveis comercialmente. As medidas de contração volumétrica foram realizadas em dinamômetro de mercúrio e a tensão de contração e módulo de elasticidade foram determinados por meio de análise de tensão-deformação. Os resultados mostraram uma correlação linear forte

para a maioria dos compósitos na tensão de contração e módulo de contração, o estresse de contração e de tração, e a contração e o módulo de tração. Para a maioria dos materiais, a porção não polimerizada de resina determinou a quantidade de contração, o estresse de contração e o módulo de tração. Os clusters pré-polimerizados presentes na resina Heliomolar resultaram em melhora na contração de polimerização e nas propriedades de tensão de contração. A tensão de contração para a resina Filtek Z100, Aelite Flo e Flow-it foi demasiadamente maior entre as resinas testadas. A explicação para estas observações se deve a altas taxas de polimerização, ao fluxo de escoamento, bem como a natureza da resina. Esse estudo mostra que o teor de resina não polimerizada determinou a quantidade de contração, o estresse de contração e o módulo de tração. Portanto, o uso de resinas compostas com clusters pré-polimerizados pode melhorar a contração e as propriedades tensão de contração, como foi mostrado pela resina Heliomolar, enquanto as elevadas taxas de polimerização e o baixo fluxo têm um efeito deteriorador sobre a contração e as propriedades de tensão de contração.

Mondelli (2005) realizou um estudo a fim de determinar *in vitro* a influência do volume e do fator de configuração cavitária ("Fator C") na intensidade das forças geradas durante a contração de polimerização de resinas compostas de ativação física e química. Foram utilizadas bases de aço, posicionadas paralelamente na máquina de ensaios (Emic - DL 500), sendo uma conectada ao braço móvel através da célula de carga de 10 Kg e, a outra, ao braço fixo. Primeiramente, duas bases retangulares (6 X 2 mm) foram utilizadas e a distância entre as mesmas ajustada em 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mm, num total de 6 grupos, variando-se o "Fator C" em 3,0; 1,5; 1,0; 0,75; 0,6 e 0,5 e o volume em 6; 12; 18; 24; 30 e 36 mm³, respectivamente, da resina Z-250 (3M/ESPE). A resina composta, depois de inserida entre as bases, era polimerizada por 20 s com luz halógena (Dentsply - 500 mW/cm²; E = 10 J/cm²). As bases ficaram fixas durante o ensaio (120 s) e as tensões geradas durante a polimerização foram registradas em gráficos [curvas força (N) x tempo (s)], num total de dez ensaios para cada grupo. No segundo experimento, foram avaliadas as forças geradas durante a contração de polimerização da resina Z- 250, polimerizada por 20 s (Dentsply - 500 mW/cm²; E = 10 J/cm²) e da resina química Concise (3M/ESPE), variando-se o "Fator C", mas com volume constante (12 mm³) dos espécimes de resina. Foram utilizados dois

pares de bases de aço (2 x 2 mm e 2 x 3 mm), com a altura ajustada entre as bases em 3,0 e 2,0 mm e “Fator C” de 0,33 e 0,6, respectivamente, num total de 10 ensaios para cada um dos 4 grupos. A resina química foi espatulada em 30 s e inserida na cavidade entre as bases, em 90 s, para então ser iniciado o ensaio com tempo de 600 s. Os valores obtidos durante os tempos de 120 e 600 s foram registrados e as tensões expressas em gráficos [curvas força (N) x tempo (s)]. A hipótese nula apresentada foi rejeitada, pois o volume influenciou decisivamente nos resultados de força de contração da resina de ativação física e o “Fator C” de ativação química. Os resultados obtidos para a resina Z-250, polimerizada de forma convencional, demonstraram que a variação do volume empregado, independente do fator de configuração cavitária, teve influência direta na magnitude das forças geradas, diferentemente da resina Concise, que foi influenciada pelo “Fator C”.

Fróes (2005) avaliou o grau de conversão e o padrão de microinfiltração de uma resina composta variando a intensidade de luz, o tempo e a distância da fonte compósito (0, 3 e 7 mm). Foram utilizadas as intensidades de 600 mW/cm² por 40 s, 400 mW/cm² por 60 s e 200 mW/cm² por 20 s + 500 mW/cm² por 40 s. A densidade de energia para todos os grupos foi então de 24J/cm². As amostras de 2mm de altura foram analisadas em um espectrômetro FT-Raman para o cálculo da quantidade de duplas ligações remanescentes do material, tanto na face irradiada como na não irradiada. A razão entre duplas ligações aromáticas e alifáticas foi utilizada para estimar o grau de conversão. As médias do grau de conversão (%) foram 58,29 (para 600 mW/cm²), 57,99 (400 mW/cm²) e 58,32 (para 200 mW/cm² + 500 mW/cm²). Para as distâncias de 0, 3 e 7 mm foram respectivamente: 59,13; 58,61 e 56,85. As faces irradiadas mostraram grau de conversão médio de 59,01, enquanto a não irradiada, de 57,40. Assim, com o aumento da distância da fonte de luz, houve uma diminuição do grau de conversão apenas quando foi utilizada a intensidade de 600 mW/cm². A distância também influenciou na microinfiltração utilizando a intensidade de 600 mW/cm² comparando-se as distâncias de 0 mm com 3 e 7 mm e utilizando as intensidades de 200 + 500 mW/cm² nas distâncias de 0 e 3 mm com 7 mm. Não houve correlação entre o grau de conversão e a microinfiltração, bem como não houve influência da energia sobre esses testes. Porém a forma de fornecer essa energia correlacionou-se bem com o grau de conversão.

Em 2006, Nunes realizou um estudo *in vitro* que teve como objetivo avaliar comparativamente a microdureza superficial e o desgaste de uma resina composta, Filtek™ Z250 (3M/ESPE), sob influência de diferentes fontes de luz (LED Ultrablue IS - DMC, LED Ultralume 5 – Ultradent e halógena VIP – BISCO), com variação das densidades de potência (300, 600 e acima de 800mW/cm²) e energia (6, >8, 12, >16, 24, >32 J/cm²). Espécimes retangulares (15 x 5 x 4 mm) foram polimerizados, conforme os fatores de variação, totalizando 15 grupos (n=6). Em seguida receberam acabamento e polimento com lixas de abrasividade decrescente (300, 600, 1200 e 2000), sendo armazenados em água deionizada a 37° C por sete dias. As mensurações da microdureza Knoop foram realizadas com o auxílio do Microdurômetro Shimadzu HMV-2, com carga estática de 100 g por 5 s nas superfícies de topo e lateral (50µm da superfície). Posteriormente os espécimes foram levados à máquina de ensaios para simulação de desgaste por escovação, utilizando-se escovas dentais macias (Oral B 30 Indicator) e creme dental (Colgate) diluído em água deionizada na proporção de 1:2 em peso. Ao final de 100.000 ciclos, a dureza da superfície lateral foi novamente mensurada e o desgaste da área escovada foi determinado por meio de perfilometria (Hommel Tester T 1000 basic – Hommelwerke). Os resultados evidenciaram que a microdureza superficial da resina composta avaliada foi significativamente menor quando da fotoativação com VIP-300 mW/cm², sendo que os maiores valores foram observados com o aparelho Ultralume 5. O desgaste superficial foi significativamente influenciado quando da utilização de baixa densidade de potência (300 mW/cm²) e energia de 6 J/cm², tanto com o VIP como Ultrablue IS, que demonstraram maior efetividade quando da utilização de densidade de energia acima de 12J/cm². De forma geral, observou-se correlação negativa quando da interação dos testes de dureza e desgaste superficial, ou seja, quando os valores de dureza aumentaram, os de desgaste diminuíram inferindo, entretanto, que isoladamente o valor de dureza não constitui em parâmetro para qualificar o desempenho da resina composta quanto à resistência ao desgaste.

Benetti, em 2007, avaliou o desempenho clínico e laboratorial de uma resina composta, considerando diferentes fontes de luz e densidades de potência, mantendo-se padronizada a densidade total de energia. O grau de conversão da resina composta foi determinado através de espectroscopia por transformada de Fourier. O grau de amolecimento em etanol foi obtido pela determinação da dureza

Wallace, antes e após o armazenamento da resina composta em etanol a 75%. O desgaste foi mensurado por dois métodos: o teste da ACTA e o teste de escovação simulada. Paralelamente, investigou-se o desempenho clínico de restaurações de resina composta em dentes posteriores, submetidas aos mesmos protocolos de fotoativação. Restaurações de classe I de resina composta foram confeccionadas e fotoativadas por lâmpada de quartzo-tungstênio ou diodo emissor de luz a 300 mW/cm², durante 40 segundos, ou a 600 mW/cm², durante 20 segundos. As restaurações foram avaliadas, imediatamente e após 6 e 12 meses, por dois examinadores calibrados, de acordo com os critérios modificados de Ryge. Não foram constatadas diferenças significantes quanto aos diferentes protocolos no grau de conversão, no grau de amolecimento em etanol e no desgaste produzido pelo método da ACTA ($p > 0,05$). Para o teste de desgaste por escovação simulada, a fotoativação com diodos emissores de luz a 300 mW/cm², durante 40 segundos, resultou em maior desgaste que os demais protocolos testados ($p < 0,05$). Adicionalmente, não foram observadas diferenças significantes quanto aos diferentes protocolos de fotoativação no desempenho clínico das restaurações, ao final de um ano de avaliação ($p > 0,05$).

Baseggio (2007) afirmou que as resinas compostas fotoativáveis apresentam limitações inerentes ao sistema restaurador, como a tensão gerada durante a contração volumétrica de polimerização e a baixa resistência ao desgaste, principalmente nas regiões de contato oclusal. Na tentativa de diminuir essas tensões ou minimizar os seus efeitos, o uso de baixa densidade de potência nos momentos iniciais da reação de polimerização tem sido proposto. Acredita-se, no entanto, que as propriedades físico-químicas do material possam ser afetadas negativamente, podendo resultar em um polímero mais frágil mecanicamente e mais susceptível à degradação. Em face dessa problematização, avaliou-se o efeito que diferentes métodos de fotoativação exercem na resistência ao desgaste de uma resina composta, bem como na suscetibilidade da estrutura polimérica final formada, em função da variação do meio de armazenamento, aquoso ou alcoólico. O aparelho empregado foi o VIP (BISCO), que possibilita comandos independentes de densidade de potência e tempo foi selecionado. Quatro diferentes métodos de fotoativação foram investigados: Convencional (C: 600mW/cm² X 40s), Pulse-delay (PD: 200mW/cm² X 3s + 3 min + 600mW/cm² X 37s), Pulse-delay plus (PDP:

600mW/cm² X 3s + 3 min + 600mW/cm² X 37s) e Softstart (SS: 200mW/cm² X 10s + 600mW/cm² X 30s). Após a fotoativação, os espécimes foram armazenados em dois meios distintos, água destilada e solução de etanol a 75%, por 24 horas, e submetidos ao teste de escovação simulada. Os métodos de fotoativação que utilizaram baixa densidade de potência inicial não comprometeram a resistência à abrasão da resina composta testada.

Em 2008, Ferracane realizou uma revisão sobre as resinas compostas e o estresse de polimerização. Quando inseridas em um preparo cavitário e polimerizadas, as resinas compostas sofrem uma significativa contração, resultando na geração de tensões no material e na interface dente-restauração. Essas tensões podem ter um efeito deletério sobre a integridade marginal se excederem a resistência adesiva da restauração, bem como sobre as propriedades do compósito. Foram determinados vários fatores que afetam essas tensões, incluindo a taxa de polimerização do compósito, a formulação do material, como a composição de monômeros e as limitações impostas pela geometria do preparo cavitário. Muitas estratégias têm sido desenvolvidas para reduzir o efeito dessas tensões. Alterações na formulação do composto incluíram a experimentação com uma variedade de aditivos para aliviar o estresse, as composições de catalisador modificado e sistemas alternativos de monômero. Modificações técnicas incluíram da técnica incremental, alteração dos regimes de fotoativação e o uso de forramentos. Em resumo, o estresse surge nas resinas compostas durante a contração de polimerização, a magnitude do estresse é mediada pela rigidez do compósito. A capacidade de alívio de tensões (ou "fluxo"), são frequentemente avaliadas com análise de elementos finitos e fotoelasticidade e podem ser diretamente mensuradas com extensômetros ou transdutores de força. Os efeitos dessas tensões incluem flexão do dente, ruptura na interface e uma redução nas propriedades mecânicas dos materiais compósitos. A formulação do composto pode ser modificada para reduzir o estresse, por exemplo, usando monômeros maiores com menor número de grupos funcionais que contenham aditivos que absorvam o estresse, adicionar partículas de carga não aderidas e diminuir a cinética da reação de polimerização, alterando a concentração dos promotores ou inibidores de polimerização. Estudos têm mostrado que o estresse pode ser reduzido por técnicas incrementais de polimerização, redução da intensidade de energia. Embora nenhuma evidência

clínica direta apoie a alegação de que tensões produzidas durante a polimerização das restaurações de resina composta dental levam ao fracasso, o diagnóstico da cárie secundária é a principal razão para a substituição dos compósitos e fornece preocupação suficiente para que a inserção desses materiais seja cautelosa e exija técnica.

Ao longo dos aprimoramentos sofridos pela resina composta, novas composições, principalmente no que diz respeito à matriz orgânica, prometem ter uma baixa contração de polimerização. Boaro et al., em 2010, compararam tensão de polimerização, contração volumétrica (total e pós-gel), a taxa de contração e módulo de elasticidade entre diferentes resinas compostas. Foram utilizadas sete resinas com matriz orgânica de BisGMA (Durafill / DU, Filtek Z250/FZ, Heliomolar / HM, Aelite LS Posterior / AP, Ponto 4/P4, Filtek Supreme / SU, ELS / EL), uma com matriz orgânica à base de silorano (Filtek LS / LS), uma à base de uretano (Vênus Diamond / VD) e uma baseada em um dimetacrilato de derivados de ácido dímero (N'Durance / ND). A tensão de polimerização foi determinada em amostras de 1 mm de altura, confeccionadas entre duas hastes de PMMA ligadas a uma máquina de ensaios universal, os espécimes foram fotoativados com uma densidade de potência de 570 mW/cm^2 por 32 segundos, totalizando 18 J/cm^2 , observando-se a tensão do início da fotoativação até decorridos 5 minutos. Para os testes de contração volumétrica foram aplicado 600 mW/cm^2 por 30 segundos, totalizando 18 J/cm^2 . Utilizou-se um dinamômetro de mercúrio, a taxa máxima de desenvolvimento de contração foi calculada a partir da primeira derivada da curva de contração x tempo e foi usado como uma medida da velocidade de reação. Para determinação do módulo de elasticidade, após dez minutos da fotoativação ($600 \text{ mW/cm}^2 \times 30$ segundos), o espécime foi submetido a três pontos de flexão em uma máquina de ensaios universal com distância de 10 mm entre cada ponto. Os resultados obtidos mostraram que a contração pós-gel variou entre 0,35 e 0,67%. P4, ND e SU apresentaram os maiores valores, todos estatisticamente semelhantes. VD, LS e EL apresentaram os menores de contração pós-gel. A contração total variou entre 1,4 e 3,1%. P4 obteve a maior contração, seguido de ND. EL, SU e AP apresentaram valores estatisticamente semelhantes e intermediários, DF foi semelhante a estas duas ultimas. Observando-se os menores valores de contração, FZ, VD e HM apresentaram valores semelhantes, sendo maior apenas

que do LS. Os compósitos apresentaram uma ampla gama de módulos de elasticidade, entre 1,4 e 9,3 GPa. AP apresentou o maior valor seguido, em ordem decrescente, por LS, SU e FZ, todos eles estatisticamente diferentes. Houve semelhança estatística também entre ND e VD e esta última foi semelhante ao P4. HM apresentou módulo de elasticidade superior ao DF e EL, os quais apresentaram os menores valores entre os compostos testados. Discutiu-se que a tensão de polimerização mostrou uma forte correlação com a contração pós-gel e nenhuma correlação com a contração total, sugerindo que para materiais com diferentes conteúdos orgânicos e inorgânicos as diferenças na cinética de reação e estrutura do polímero afetam seu comportamento viscoelástico e a conversão alcançada na vitrificação. Esse achado também acrescenta elementos de prova para o fato de que a fração de contração que ocorre antes da vitrificação tem pouco efeito sobre o desenvolvimento do estresse de contração. Por fim, conclui-se que nem todos os compostos que prometem baixa contração demonstraram realmente uma contração de polimerização reduzida. Além disso, para efetivamente reduzir o estresse de polimerização, uma baixa contração pós-gel deve estar associada a um relativo baixo módulo de elasticidade.

Em 2011, Gonçalves et al. avaliaram a relação de dependência da tensão de polimerização (TP), grau de conversão (GC), taxa máxima de reação de polimerização (R_{pmax}), contração volumétrica (CV), módulo de elasticidade (E) e tangente de delta ($\tan\delta$) com o conteúdo inorgânico e proporção de BisGMA:TEGDMA e verificaram as possíveis relações de dependência entre a TP e as demais variáveis-resposta. Foram preparadas vinte formulações, com concentrações de carga de 40, 50, 60 ou 70 % em peso de vidro de bário e proporções molares de BisGMA:TEGDMA de 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 ou 7:3. TP ($n=7$) foram determinadas pela inserção do compósito entre bastões de acrílico fixados às garras de uma máquina universal de ensaios e dividindo-se a máxima força de contração registrada pela secção transversal dos bastões. GC e R_{pmax} foram determinados por espectroscopia no infravermelho próximo ($n=5$). CV foi mensurada em dilatômetro de mercúrio ($n=3$), obtida através do teste de flexão em três pontos ($n=10$). $\tan\delta$ foi determinada por nanoindentação dinâmica ($n=3$). Todas as variáveis se mostraram dependentes da concentração inorgânica e conteúdo monomérico. TP, GC e R_{pmax} foram mais influenciados pela matriz, enquanto que

CV, E e tan δ apresentaram maior efeito da concentração de carga. TP mostrou-se dependente dos fatores CV e GC. A formulação de compósitos com baixa TP deve observar criteriosamente a fração inorgânica e o conteúdo monomérico, sendo o principal desafio encontrar formulações com baixa CV, uma vez que os demais fatores demonstraram não ter influência significativa e o GC do material não deve ser sacrificado com o propósito de reduzir a TP.

No mesmo ano, Sideridou, Karabela e Vouvoudi realizaram um trabalho com o objetivo de detalhar as características de sorção de água ou saliva artificial, determinar a resistência à flexão e o módulo de flexão, além do estudo da estabilidade térmica de algumas resinas compostas com partículas nanométricas atualmente utilizadas. Foram selecionadas três resinas nano-híbridas (Tetric EvoCeram (TEC), Grandio (GR) e Protobond nano (PR)) e dois compósitos nanoparticulados (Filtek Supreme Corpo (FSC) e Filtek Supreme translúcido (FST)). Foi determinada a contração volumétrica, além da sorção, solubilidade e expansão volumétrica após o armazenamento em água ou saliva artificial por 30 dias. A resistência à flexão e o módulo flexural foram mensurados utilizando a flexão por três pontos e a análise da estabilidade térmica dos compósitos foi realizada pela análise termogravimétrica. A quantidade de água absorvida e solubilidade não foi estatisticamente diferente dos valores observados para saliva artificial. Em todos os compósitos estudados, a quantidade de água sorvida (% na composição) não foi estatisticamente diferente da quantidade de água desorvida e segue a ordem: GR < TEC < PR < FSC < FST. O módulo de flexão dos compósitos, após imersão de um dia, segue a ordem do TCE < PR $\leq$ FST < FSC < GR. Os compósitos GR e TCE não mostraram resultados estatisticamente diferentes na contração volumétrica, sendo menor que as outras resinas avaliadas, seguida a ordem PR < FSC < FST. Esta ordem depende do conteúdo total da matriz orgânica dos compósitos: a GR contém a menor quantidade de matriz orgânica, 13% em peso; e FST a maior, 30,0% em peso. No entanto, PR apresentou maiores contrações que a TCE, embora ambos contenham a mesma quantidade de matriz orgânica (~ 18,0% em peso). Isso é atribuído a diferentes composições químicas da matriz orgânica. A matriz orgânica da PR é composta de Bis-GMA, UDMA e TEGDMA, enquanto a do TCE é composta por BisGMA e UDMA. Tem-se na literatura que o TEGDMA mostra um maior grau de conversão que o BisGMA e UDMA. Dentre os compósitos estudados,

a GR com o menor teor de matriz polimérica, que consiste principalmente de Bis-GMA, mostrou a menor contração de polimerização e absorção de água, além da maior resistência à flexão e módulo de flexão após imersão em água ou saliva artificial por 30 dias.

2.6 Estabilidade de cor

A estrutura polimérica formada pode ser avaliada de diversas formas e através de diferentes métodos. A pigmentação ou alteração de cor por substâncias corantes ocorre na medida em que são incorporados ao compósito, processo esse que ocorre através da sorção de água das resinas compostas após a polimerização. A qualidade da cadeia polimérica formada, entre outros fatores, impõe limites na sorção de água, onde se observa que a presença de ligações entre as cadeias poliméricas geralmente resulta numa diminuição significativa da permeabilidade de água do polímero. Assim, a natureza hidrofílica de um polímero é, em grande parte, uma função da química de seus monômeros e de ligações de suas cadeias poliméricas. (MALACARNE et al., 2006).

Dentro dessa linha de pesquisa, no ano de 2006, Ferracane realizou um trabalho com o objetivo de descrever os fatores associados aos efeitos higroscópicos e a hidrolítica em redes de polímeros odontológicos, revisando a literatura gerada nos últimos 30 anos ou mais nessa área. Os polímeros utilizados em materiais dentários restauradores estão sujeitos a efeitos higroscópicos e hidrolíticos em diferentes graus, que dependem de sua química e estrutura polimérica, podendo influenciar as propriedades mecânicas, a estabilidade dimensional e a biocompatibilidade. Em que proporção esses fenômenos afetam o desempenho clínico das restaurações ainda é desconhecido, embora diversos pesquisadores tenham aludido à redução do potencial de vida útil da restauração. Enquanto as propriedades físicas e mecânicas desses materiais podem ser significativamente alteradas pelos efeitos da absorção de solvente e a eluição de componentes, o que pode constituir a maior preocupação é a liberação, em curto prazo, dos componentes não reagidos e eluição, em longo prazo, dos produtos de

degradação na oral cavidade, sendo que ambos devem ser fortemente considerados durante o desenvolvimento do material restaurador.

No mesmo ano, Ertas et al. elaboraram um estudo com o objetivo de avaliar a estabilidade de cor de resinas compostas após a imersão em diferentes bebidas: café, vinho tinto, Coca-cola e água destilada. Para tanto, foram selecionadas duas resinas nano-híbridas (Grandio e Filtek Supreme), duas resinas micro-híbridas (Filtek Z250 e Quadrant) e outra resina indicada para dentes posteriores (Filtek P60). Todas foram fotoativadas por 20 s com uma densidade de potência de 400 mW/cm² e realizaram-se mensurações de cor por meio de calorimetria com base no sistema CIE L* a* b*. As alterações de cor foram calculadas antes e após 24hs de imersão em uma das soluções corantes. Dentre elas, o armazenamento em água destilada demonstrou as menores alterações de cor para todos os materiais, enquanto o vinho tinto mostrou as maiores alterações de cor. Em outras palavras, para todos os materiais testados, as alterações de cor podem ser ranqueadas na seguinte ordem: água < coca cola < chá < café < vinho tinto. Quando se compararam as resinas compostas, a Filtek P60 e Z250 mostraram menores alterações de cor quando comparadas às resinas nano-híbridas e a Quadrant LC. Discutiu-se sobre o impacto direto que a estrutura polimérica e as características de partículas têm sobre a lisura e a susceptibilidade no manchamento extrínseco. Dentro dos resultados observados neste estudo, as resinas compostas Filtek Z250 e P60 mostraram maior resistência ao manchamento quando comparadas à resina Filtek Supreme. Essas três resinas são do mesmo fabricante e apresentam formulação bastante semelhante e praticamente a mesma porcentagem de carga em volume, entretanto, partículas aglomeradas, chamadas de nanoclusters, presentes na resina Filtek Supreme parecem ter menos resistência a alterações de cor que as partículas presentes nas resinas Filtek Z250 e P60 (micropartículas de zircônia-sílica), o que poderia aumentar relativamente a sorção de água. Além disso, quando se avalia a formulação da matriz orgânica, a resina Supreme difere das outras devido a uma pequena quantidade de TEGDMA, que poderia ser responsável pela maior absorção de água e taxas de descoloração. Como conclusão do estudo, obteve-se que as resinas Filtek P60 e a Filtek Z250, que não contêm TEGDMA, demonstraram maior estabilidade de cor quando comparadas às resinas que apresentam esse diluente em sua composição (Filtek Supreme, Grandio e Quadrant LC). Para todas as resinas

testadas, as alterações de cor quando em chá, café e vinho tinto foram maiores ou iguais a 3,7, ou seja, as alterações de cor sofridas por estes agentes corantes são perceptíveis visualmente, portanto, clinicamente inaceitáveis.

Para avaliar o efeito das unidades fotoativadoras e de soluções corantes na estabilidade de cor de resinas compostas, Yazici et al. (2007) realizaram um estudo com duas resinas compostas, uma híbrida (Clearfil), e outra nano-híbrida (Filtek Supreme) que foram submetidas à fotoativação por 40 s por uma lâmpada halógena com densidade de potência de 450mW/cm^2 ou por uma unidade LED com 400mW/cm^2 de densidade de potência. As avaliações de cor foram realizadas utilizando-se um espectrofotômetro e o sistema CIE $L^* a^* b^*$. Os corpos-de-prova foram avaliados antes e após 1h, 7 e 30 dias de imersão em uma das soluções (café, chá e água destilada). Nas amostras da resina composta Clearfil, fotoativas com lâmpada halógena ou LED, alterações de cor só foram perceptíveis após 30 dias de imersão em café ou chá. Para a resina Filtek Supreme, as amostras polimerizadas por lâmpada halógena ou LED mostraram alterações de cor perceptíveis visualmente quando imersa em café, em todos os períodos de avaliação. Quando imersas em chá, as amostras mostraram alterações de cor somente após 30 dias de armazenamento. Não houve diferença estatisticamente significativa quando se compararam as unidades fotoativadoras na estabilidade de cor das duas resinas compostas após a imersão em quaisquer das soluções corantes, em todos os períodos. A estabilidade de cor das resinas compostas relaciona-se com a matriz orgânica, as dimensões das partículas de carga, o grau de polimerização e agentes corantes. Desde que o grau de conversão foi reportado como um fator influente na descoloração das resinas compostas, observou-se que superfícies com menor grau de polimerização podem exibir um aumento na descoloração. As conclusões do trabalho foram que a polimerização com lâmpada halógena ou LED não causaram alterações significantes na estabilidade de cor das resinas compostas Clearfil e Filtek Supreme. Além disso, a resina Clearfil apresentou maior estabilidade de cor que a resina Filtek Supreme, graças às diferentes formulações das resinas. As soluções corantes, café e chá, apresentaram a mesma capacidade de manchamento e os efeitos dessas soluções dependem do tempo de imersão e da composição da resina composta.

A relação entre o grau de conversão (GC), a solubilidade e sorção de diferentes resinas também foram avaliadas em um estudo de Silva et al.(2008), onde foram selecionadas duas resinas compostas, uma híbrida (Filtek P60) e outra nanoparticulada (Filtek Supreme), ambas com a mesma formulação de matriz orgânica. A fotoativação foi realizada utilizando uma lâmpada halógena e dois modos de fotoativação foram determinados convencional (C) com $850\text{mW}/\text{cm}^2$ por 10 s e soft-start (SS) a partir de 100 até $1000\text{mW}/\text{cm}^2$ por 10 s + $1000\text{mW}/\text{cm}^2$ por mais 20 s, proporcionando densidades de energia bastante semelhantes. O GC foi avaliado por espectroscopia FT-Raman, e os padrões de sorção e solubilidade foram avaliados mediante alterações de massa das amostras antes e após a imersão em saliva artificial a 37°C por 7 dias. Os resultados obtidos para o grau de conversão mostraram diferença estatisticamente significativa entre as duas resinas, onde a Filtek P60 apresentou maior porcentagem de conversão que a resina Filtek Supreme, e significância estatística também entre os dois modos de fotoativação, sendo que com o modo C foram obtidas as maiores porcentagens de GC. Em relação à solubilidade, os dois fatores de variação, resina e modo de fotoativação, apresentaram influência significativa, observando-se valores de solubilidade menores para a resina Filtek P60 e quando utilizado o modo C para a fotoativação. Para a sorção salivar, o teste estatístico revelou diferença significativa para ambos os fatores de variação, bem como a interação entre eles. A sorção salivar da resina Filtek P60 foi menor que a apresentada pela Filtek Supreme. E a sorção de espécimes fotoativados com modo C foi menor que a das amostras ativadas com o modo SS. Foi encontrada uma correlação entre a solubilidade e o grau de conversão, bem como entre a solubilidade e a sorção salivar, porém não houve correlação entre o grau de conversão e a sorção salivar. Do ponto de vista clínico, esses resultados sugerem que os compósitos nanoparticulados podem apresentar maior taxa de degradação no meio bucal quando comparados aos híbridos. Sugeriu-se, portanto, que a superfície dos sistemas de partícula de carga desempenha um papel fundamental nas propriedades desses compósitos, e que a ativação de luz, leva a um maior grau de conversão, pode diminuir a solubilidade de resinas compostas.

Em 2009, Berger et al. determinaram a sorção de água (SA) e solubilidade (SO) de 3 resinas compostas que contêm diferentes conteúdos de partículas de

carga. Adicionalmente, o tamanho, formato, tipo e outras características das partículas foram analisados em microscopia eletrônica de varredura (MEV). As resinas foram selecionadas de acordo com o tamanho das partículas: Filtek Supreme nanoparticulado (3M ESPE), Esthet- X micro-híbrido (Dentsply Caulk) e Renamel microparticulado (Cosmedent Inc.). Dez espécimes com formato de disco de cada compósito foram confeccionados e armazenados em dessecador até obtenção de massa constante. Em seguida, os espécimes foram armazenados em água por 7 dias e sua massa mensurada novamente. Os espécimes foram desidratados novamente e a massa final mensurada. A SA e a SO foram calculadas a partir dessas medidas. As partículas de carga dos compósitos foram observadas em MEV, após a remoção da matriz orgânica com solventes orgânicos. Os dados foram analisados por ANOVA e teste de Tukey ($\alpha=0.05$). Os materiais testados foram estatisticamente semelhantes quando avaliada a SA, porém diferiram significativamente quando comparados na SO, revelando diferenças significativas entre os compósitos. Os valores de SO da resina Filtek Supreme foram menores que os das outras resinas testadas, as quais apresentaram valores similares. Em relação ao estudo das partículas, observaram-se partículas irregulares (Esthetic X e Renamel Microfill) ou esféricas (Filtek Supreme), dependendo do fabricante. Os materiais contêm diferentes conteúdos de carga, em termos de formato e tamanho das partículas. As resinas compostas mostraram similar SA, enquanto o compósito nanoparticulado apresentou a menor SO. As características das partículas de carga foram diferentes entre os compósitos estudados.

No mesmo ano, para avaliar a influência de diferentes bebidas corantes, na estabilidade de cor de resinas compostas, Topcu et al. selecionaram oito soluções (saliva artificial, água destilada, suco de limão, café, Coca-cola, suco de cereja, suco de cenoura e vinho tinto) e quatro resinas compostas comumente utilizadas (Filtek Z250, Filtek Supreme, Quadrant e Charisma), todas na coloração A2. Foram realizadas avaliações de cor antes e após um dia de imersão em uma das oito soluções corantes. As avaliações de cor foram obtidas utilizando um calorímetro, XL-20 Trismulus utilizando o sistema CIEL*a* b* e as diferenças de cor (ΔE) foram obtidas. Os resultados obtidos foram que, quando a alteração de cor das diferentes resinas foi comparada, a Filtek Z250 apresentou os maiores valores de alteração ($\Delta E = 2,15 \pm 0,95$) e a resina Filtek Supreme, a mínima alteração de cor ($\Delta E =$

0,88±0,4). Dentre as soluções utilizadas, as maiores alterações de cor foram observadas nas amostras imersas em vinho tinto ($\Delta E=2,29\pm 1,07$) e as menores alterações nas amostras imersas em saliva artificial ($\Delta E=1,35\pm 0,61$). A diferença entre as soluções foi comparada estatisticamente e todas as soluções corantes apresentaram diferenças estatísticas em relação ao grupo-controle. O café e o vinho tinto foram as soluções que causaram maior alteração de cor. As maiores alterações de cor foram observadas na resina Filtek Z250 em café, Coca-cola, suco de cereja, suco de limão, suco de cenoura e vinho tinto. Quando em suco de limão ou saliva artificial, as maiores alterações de cor foram obtidas com a resina Charisma. A menor alteração de cor foi observada na resina Filtek Supreme, imersa em suco de limão, e a resina Quadrant com suco de cenoura. Essas alterações de cor são ocasionadas pela absorção e adsorção das substâncias corantes pela matriz orgânica das resinas compostas. Dessa forma, as formulações das diferentes resinas compostas podem alterar a susceptibilidade de pigmentação das resinas compostas.

A estabilidade de cor de resinas compostas microparticuladas, micro-híbridas e nanoparticuladas foi avaliada em um estudo *in vitro* realizado por Nasim et al. em 2010. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito de bebidas corantes, como chá e Pepsi, na estabilidade de cor de três resinas compostas (Heliomolar, Spectrum TPH e Filtek Z350) após sete e trinta dias. As avaliações de cor foram realizadas com o auxílio de um espectrofotômetro, utilizando o sistema CIE L*a*b*. Todas as resinas testadas apresentaram alteração de cor após o período de imersão, sete ou trinta dias. As alterações de cor exibidas nos três grupos obtiveram diferenças estatisticamente significantes para todas as bebidas, em ambos os períodos. Dentre as resinas estudadas, a resina micro-híbrida Spectrum TPH mostrou a maior estabilidade de cor. A resina microparticulada Heliomolar sofreu maiores alterações de cor quando em água destilada e Pepsi, após 7 e 30 dias. Já a resina nanoparticulada apresentou maiores alterações de cor quando imersa em chá por 7 e 30 dias. Os diferentes resultados observados, para as diferentes resinas compostas, podem ser explicados através da avaliação da formulação das resinas compostas, sua matriz orgânica e quantidade de partículas presente, podendo interagir de diferentes maneiras com certas soluções corantes, dependendo da composição química da solução. Como conclusões do trabalhos, obtiveram que

todas as bebidas utilizadas afetaram a estabilidade de cor das resinas testadas, porém essas alterações permaneceram dentro do limite aceito clinicamente. A resina micro-híbrida mostrou maior estabilidade de cor que a resina nanoparticulada e a microparticulada. Os efeitos das bebidas nas alterações de cor das resinas compostas dependem do tipo de bebida e da composição da resina utilizada. Análises *in vivo* são necessárias para que haja um melhor entendimento da estabilidade de cor de resinas compostas quando expostas às diversas bebidas.

Park et al., no mesmo ano, realizaram um trabalho a fim de avaliar os efeitos de soluções corantes na descoloração de resinas compostas nanoparticuladas. Foram escolhidas as resinas Ceram X, Grandio e Filtek Z350 para a confecção dos corpos-de-prova, que foram submetidos à fotoativação por 40s a uma densidade de potência de 1000 mW/cm². A avaliação da cor foi realizada inicialmente e após a imersão em soluções corantes (água destilada, café, álcool 50% e chá verde) por sete horas por dia, durante três semanas. A diferença de cor (ΔE) foi obtida baseada no sistema CIEL*a*b*. De maneira geral, a estabilidade de cor de uma resina composta é afetada por vários fatores, tais como: a matriz resinosa, a concentração do iniciador, a oxidação dos monômeros não reagidos durante a fotoativação, a porcentagem de carga e pigmentos. A alteração de cor em resinas compostas nanoparticuladas pode ser relatada pela absorção e adsorção da solução corante. Os resultados obtidos mostraram que os corpos-de-prova imersos em água destilada, álcool 50% e chá verde mostraram um ligeiro aumento dos valores de L*, que determinam a luminosidade da amostra. Entretanto, os corpos-de-prova que foram imersos em café mostraram uma queda dos valores de L e aumento nos valores de b, que consiste no eixo de cores do azul (-b*) ao amarelo(+b*). As soluções corantes utilizadas nesse estudo induziram a diferentes graus de alterações de cor nos corpos-de-prova, onde a água destilada (AD), a solução alcóolica (SA) e o chá verde (CV) induziram a alterações de cor semelhantes (AD 0,8 ~2,6; SA 1,2 ~2,5; CV 1,6 ~2,7 dependendo da resina e da cor) sendo uma faixa de alteração de cor aceitável. Entretanto o café (CF) proporcionou significantes alterações de cor (CF 3,1 ~ 5,6 dependendo da resina e da cor) e, na maioria das resinas, o grau de alteração foi inaceitável. Como conclusão, dentro dos limites desse estudo, somente o café ocasionou alterações inaceitáveis. Em contraste com as outras soluções testadas, os valores de L* e b* mostraram alterações

significantes, após 3 semanas de imersão em café, devido ao agente corante marrom. Independente da solução utilizada, a porcentagem de carga e a composição da matriz orgânica não mostraram influência significativa na alteração de cor.

3 Proposição

3 PROPOSIÇÃO

O presente estudo tem como objetivo:

- Avaliar a influência da variação das densidades de potência na contração de polimerização de resinas compostas;
- Avaliar a influência da variação das densidades de potência na alteração de cor após a imersão em café de resinas compostas.

Dessa forma, ter-se-á como hipótese de nulidade:

- A variação das densidades de potência não alteram a indução da contração de polimerização das resinas compostas;
- A variação das densidades de potência não alteram a indução da alteração de cor após a imersão em café das resinas compostas.

4 Materiais e Métodos

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Foram selecionadas duas resinas compostas, sendo uma resina composta micro-híbrida, Filtek Z250 (3M/ESPE, Saint Paul – MN, USA), matiz A e croma 2 e uma resina composta nanoparticulada Filtek Z350 XT (3M/ESPE, Saint Paul – MN, USA), esmalte com matiz A e croma 2, ilustrados na Figura 1.

O quadro 1 ilustra a marca comercial, classificação, cor, fabricante, número de lote, ano e mês de validade de cada resina composta.

QUADRO 1 – Apresentação da marca comercial, classificação, cor, fabricante, número do lote, ano e mês de validade das resinas compostas fotoativáveis utilizadas neste estudo.

MARCA COMERCIAL	CLASSIFICAÇÃO	COR	FABRICANTE	NÚMERO DO LOTE	ANO/MÊS VALIDADE
FILTEK™ Z250	MICRO-HÍBRIDA	A 2	3M/ESPE	1023800105	JAN/2013
FILTEK™ Z350XT	NANOPARTICULADA	A 2E	3M/ESPE	1031200179	ABR/2013

O sistema restaurador Filtek Z250 tem sua matriz orgânica constituída basicamente por UDMA (uretano dimetacrilato) e BisEMA (Bisfenol A – polietileno glicol diéter dimetacrilato) e partículas inorgânicas de zircônia e sílica com tamanhos que variam de 0,01 a 3,50 µm. Já o sistema restaurador Filtek Z350XT possui em sua matriz orgânica BisGMA (bisfenol A – diglicidil éter dimetacrilato), UDMA, TEGDMA (trietileno glicol dimetacrilato), PEGDMA (Polietilenoglicol dimetacrilato) e BisEMA. As partículas inorgânicas são uma combinação de sílica (20 nm) não aglomeradas/não agregadas, zircônia (4-11nm) não aglomerados/não agregados e

aglomerados de partículas agregadas de zircônia/sílica. O quadro 2 ilustra a composição básica das resinas compostas utilizadas nesse estudo.

QUADRO 2 – Composição básica das resinas compostas utilizadas.

RESINA COMPOSTA	MATRIZ ORGÂNICA	COMPOSIÇÃO INORGÂNICA	PESO (%)	VOLUME (%)
FILTEK™ Z250	BISGMA, UDMA E BISEMA	ZIRCÔNIA, SÍLICA	78	60
FILTEK™ Z350XT	BISGMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA E BISEMA	ZIRCÔNIA E SÍLICA	78,5	63,3

Para a polimerização das resinas compostas, foi selecionado um aparelho fotoativador de diodo emissor de luz (LED) Blue Star 3 da Microdont (Micro Usinagem de Precisão Ltda.) (Figura 2). Esse aparelho permite comandos independentes de tempo (5, 10, 15 e 20 segundos) e densidade de potência máxima de 1550 mW/cm².

Para possibilitar a obtenção de diferentes densidades de potência com a mesma fonte de luz foi feita a adaptação de distanciadores plásticos transparente na ponteira de fibra óptica do referido aparelho, com comprimentos de 33, 19 e 9 mm (Figura 3), comprimentos estes definidos por tentativas e erros até que propiciassem, irradiâncias de 300, 600 e 1000 mW/cm², respectivamente, e 1550 mW/cm² (sem distanciador). Para favorecer o reposicionamento padrão dos distanciadores foi fixado um limitador plástico transparente na ponteira de fibra óptica (Figura 4). Para aferir as densidades de potência do aparelho fotoativador foi utilizado um radiômetro para LED (RD-7 Ecel Indústria e Comércio Ltda. Ribeirão Preto, SP). De forma complementar um termômetro digital (Minipa MT401A) foi usado para verificar, nas diferentes densidades de potência, a temperatura final, após o tempo de 20 segundos, tendo registrado valores de 33, 40, 55 e 70°C, respectivamente, para as irradiâncias de 300, 600, 1000 e 1550 mW/cm².

FIGURA 1 – Resinas compostas estudadas

FIGURA 2 – Aparelho fotoativador Blue Star 3

FIGURA 3 – Distanciadores de plástico transparente

FIGURA 4 – Limitador plástico transparente fixado à ponteira de fibra óptica

4.2 Métodos

Todos os procedimentos práticos foram executados por um único operador, sempre em um ambiente com controle de temperatura ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) e de umidade relativa do ar ($50 \pm 10\%$).

4.2.1 Avaliação das forças de contração de polimerização

4.2.1.1 Descrição do método

Para realização desse experimento foi empregada a metodologia baseada nos experimentos de Davidson, de Gee e Feilzer (1984) e Feilzer, de Gee e Davidson (1987), com algumas alterações idealizadas por Mondelli, Castañeda-Espinosa e Franco (2002), Castañeda-Espinosa e Mondelli (2002) e Mondelli (2005). Esta metodologia permite o controle de alguns fatores de variação, como o fator de configuração cavitária e o volume do incremento, de acordo com as dimensões e a altura entre as bases metálicas empregadas, possibilitando a análise da influência de diferentes densidades de potência (MONDELLI, CASTAÑEDA-ESPINOSA,

FRANCO, 2002) e das forças geradas durante a contração de polimerização de resinas compostas (MONDELLI, 2005).

Os testes de contração de polimerização foram realizados na máquina de ensaios universal Emic DL 500 (Emic Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda, Paraná, Brasil) com adaptação de duas bases de aço retangulares (6 X 2mm) que previamente receberam jateamento com óxido de alumínio para permitir a adesão da resina ao metal (Figura 5). A base metálica superior foi acoplada ao braço móvel da máquina de ensaios por meio da célula de carga de 100 kg e a base metálica inferior foi acoplada à base fixa da máquina de ensaios com utilização do dispositivo BENCOR Multi-teste. Durante os ensaios, as bases foram ajustadas paralelamente na máquina de ensaio, de tal forma que houvesse uma distância entre as duas de 1,0 mm (espaço padrão), determinando-se um volume padronizado dos incrementos de resina composta em 12,0 mm³.

A resina composta foi inserida com auxílio de espátulas metálicas (Suprafill 1 e 2 – Duflex), preenchendo toda a cavidade com incremento único. A fotoativação (Figura 6) foi realizada com o aparelho Blue Star 3 (Micro Usinagem de Precisão Ltda.) por vinte segundos, seguindo-se a orientação do fabricante das resinas compostas.

Com a fixação do braço superior da máquina de ensaios, os valores das forças geradas durante a contração de polimerização do material eram registrados pelo programa de computação (*software*) instalado pelo fabricante da máquina Emic através da deformação da célula de carga de 100 kg, portanto o registro dos valores foi estabelecido pela tração em tempo pré-determinado de 120 segundos. Além do registro das forças de contração de polimerização foram obtidos gráficos que delimitaram curvas [força (em Newton) X tempo (em segundos)], em função da variação das densidades de potência aplicadas durante a fotoativação das resinas compostas avaliadas.

FIGURA 5 – Bases metálicas acopladas à máquina de ensaios Emic.

FIGURA 6 – Teste de avaliação da força de contração de polimerização, com adaptação de um dos distanciadores.

4.2.1.2 Distribuição dos grupos

Oito grupos (n=10) foram analisados nesse experimento, variando-se a resina composta utilizada (Filtek Z250 e Filtek Z350XT) e as densidades de potência do aparelho (300, 600, 1000 e 1550 mW/cm²), como pode ser observado no quadro 3.

QUADRO 3 - Classificação dos espécimes em grupos com suas respectivas resinas compostas e densidades de potência para os testes de contração de polimerização.

4.2.2 Teste de pigmentação

4.2.2.1 Confeção da matriz

Os corpos-de-prova foram confeccionados em uma matriz pré-fabricada de aço inoxidável retangular, com dimensões de 71 X 49 X 6 mm, que possuía duas partes quadrangulares independentes e móveis. Cada uma dessas partes apresentava dimensões de 30 X 30 mm e espessura de 2mm, compondo-se dois segmentos que se dividiam quando removidos da base retangular da matriz. No centro desses segmentos havia uma cavidade circular com 6 mm de diâmetro e 2mm de profundidade (Figura 7).

4.2.2.2 Confeção dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram obtidos a partir da cavidade interna da matriz pré-fabricada, inserindo apenas um incremento de cada uma das resinas compostas, com auxílio de uma espátula nº1 (Duflex Ind. Bras.) Em seguida uma tira de poliéster e uma lamínula de vidro foi posicionada sobre a superfície externa da matriz, a fim de proporcionar uma regularidade superficial do espécime durante sua polimerização, além de inibir a formação da camada superficial inibida pelo oxigênio, após a polimerização dos espécimes (Figura 8).

Foram confeccionados quarenta espécimes de resina composta, com dimensões de 6 X 2 mm, sendo vinte com a resina Filtek Z250 e outros vinte com a Filtek Z350XT. Na figura 9 pode-se observar um esquema com as dimensões do corpo-de-prova obtido.

FIGURA 7 - 1 e 2. Matriz empregada na confecção dos espécimes para o teste de pigmentação.

FIGURA 8 - 1 e 2. Fotoativação e obtenção dos espécimes de resina composta.

FIGURA 9 – Esquema representativo das dimensões totais do corpo-de-prova.

4.2.2.3 Distribuição dos grupos

O quadro 4 ilustra a composição dos oito grupos ($n=5$), podendo-se observar para as duas resinas compostas utilizadas (Filtek Z250 e Filtek Z350XT) a subdivisão em função das diferentes densidades de potência do aparelho 300, 600, 1000 e 1550 mW/cm².

QUADRO 4 - Classificação dos espécimes em grupos com suas respectivas resinas compostas e densidades de potência para os testes de pigmentação.

RESINA COMPOSTA FILTEK™ Z250

RESINA COMPOSTA FILTEK™ Z350XT

4.2.2.4 Armazenamento inicial dos espécimes

Primeiramente, todos os 40 espécimes foram identificados com números em sua face lateral e armazenados, de acordo com o grupo experimental, em oito frascos escuros e opacos devidamente identificados. No interior de cada um desses frascos, além dos corpos-de-prova, foram colocados 10 ml de água deionizada, em seguida, armazenados em estufa por um período de sete dias em temperatura de 37°C. Esse período foi estabelecido para que ocorresse absorção de água pelo material restaurador e estabilidade higroscópica, bem como para que a reação de polimerização pudesse ser complementada.

4.2.2.5 Planificação e polimento dos espécimes

Para a planificação, os espécimes foram fixados com cera pegajosa Kota (Kota Ind Bras.) no centro de um disco de acrílico de 30 mm de diâmetro por 8 mm de espessura. A face inferior do corpo-de-prova foi posicionada voltada para o disco, com o intuito de realizar a planificação da face superior do corpo-de-prova, correspondente à área estudada (Figura 10). O conjunto espécime/disco de acrílico

foi adaptado em uma Politriz Metalográfica (APL 4, Arotec, Cotia, SP) com sistema de polimento múltiplo, de forma a permitir o paralelismo entre a base do disco de acrílico e a superfície a ser planificada (Figura 11). Foram utilizadas, em ordem ascendente, duas lixas de silicone carbide de granulometria 600 e 1.200 (Extec Corp.), com refrigeração de água deionizada (Figura 12). A politriz foi acionada em baixa velocidade, com peso padrão de 172 g, durante 1 minuto para cada lixa. Entre cada etapa do processo de planificação, o conjunto espécime/disco de acrílico foi levado ao aparelho de ultrassom T7 Thomson (Unique Ind. e Com. De Produtos Eletrônicos Ltda., São Paulo, SP), com frequência de 40 KHz, durante 1 minuto, com água destilada deionizada, com o objetivo de remover os grânulos provenientes de cada lixa e impedir que interferissem na qualidade do polimento das lixas seguintes.

4.2.2.6 Descrição do método para avaliação da pigmentação

Imediatamente após a limpeza, os espécimes foram secos com papéis absorventes e submetidos à avaliação de cor.

Para verificar as alterações de cor sofridas pelos corpos-de-prova, antes e após a imersão em solução corante, (café) foi utilizado o Espectrofotômetro Easyshade (Vita, Alemanha) (Figura13).

O padrão de observação simulado pelo colorímetro espectrofotométrico Easyshade foi selecionado para o sistema CIE-Lab, recomendado pela CIE (Comission Internationale de l'Éclairage) e amplamente utilizado. Neste sistema, a variável a^* consiste no eixo de cores verde ($-a$) e vermelho ($+a$) e a variável b^* no eixo das cores azul ($-b$) e amarelo ($+b$). Os eixos a^* e b^* possuem ângulos retos e representam a dimensão da tonalidade ou cor. O terceiro eixo, chamado de L^* , é perpendicular ao plano a^*b^* e indica a luminosidade da amostra. Com esse sistema, qualquer cor pode ser especificada com as coordenadas L^* , a^* , b^* .

Para as leituras da cor em todas as etapas, os corpos-de-prova foram previamente lavados em água deionizada corrente e devidamente secos com papel absorvente e, em seguida, colocados sobre o bloco de fundo padrão branco, ilustrado pela figura 14. As amostras sobre o bloco recebiam a luz proveniente de 30 lâmpadas LED, com dez diferentes cores, dispostas de forma circular, que incidiam

na superfície do material como um feixe de luz. Esse era refletido e, assim, o Easyshade captava os valores de L^* , a^* , b^* (Figura 15).

FIGURA 10 – Corpo-de-prova fixado com cera pegajosa no disco de acrílico.

FIGURA 12 – Lixas de granulação 600 e 1200.

FIGURA 11 – Politriz Metalográfica.

FIGURA 13 – Espectrofotômetro Easyshade.

FIGURA 14 – Bloco branco para padronização do fundo.

FIGURA 15 – Avaliação da cor.

4.2.2.7 Armazenamento em café

Para o teste de pigmentação os corpos-de-prova foram imersos em café, seguindo a metodologia descrita por TOPCU *et al.*, em 2009.

O café foi preparado com 200 ml de água deionizada aquecida por um micro-ondas a 100°C e a ela adicionou-se 5g de Nescafé, previamente pesado em balança. Aguardou-se que a temperatura da solução estivesse por volta de 37°C para, então, ser colocada no interior dos frascos individualizados e identificados, de acordo com o grupo. Em cada frasco foram colocados 10 ml de café, sendo substituído a cada 24 h e preparada sempre imediatamente antes do seu uso.

Os frascos contendo os corpos-de-prova imersos em café foram armazenados em estufa, em temperatura de 37°C, seguindo-se os períodos de avaliação indicados no quadro 5.

A avaliação da densidade da cor (ΔE) foi determinada pela diferença entre as coordenadas obtidas das amostras nos diferentes períodos de avaliação em comparação com a mensuração inicial. A mudança de cor, comumente usada para representar uma diferença de cor, foi calculada a partir da fórmula (CIE., 1986): $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$.

QUADRO 5 – Períodos de avaliação da cor de todos os grupos experimentais.

PERÍODOS DE AVALIAÇÃO DA COR	
INICIAL	APÓS 7 DIAS EM ÁGUA DEIONIZADA A 37°C
FASE 6HS	APÓS 6HS EM CAFÉ
FASE 12HS	APÓS 12HS EM CAFÉ
FASE 1 DIA	APÓS 1 DIA EM CAFÉ
FASE 2 DIAS	APÓS 2 DIAS EM CAFÉ
FASE 3 DIAS	APÓS 3 DIAS EM CAFÉ
FASE 4 DIAS	APÓS 4 DIAS EM CAFÉ
FASE 5 DIAS	APÓS 5 DIAS EM CAFÉ

4.2.3 Análise estatística

Os resultados dos dois experimentos foram submetidos à análise estatística para a verificação de diferenças ou não entre os grupos em função das densidades de potência e das resinas compostas. O teste paramétrico ANOVA (análise de variância) a dois critérios de classificação foi aplicado, considerando a distribuição amostral normal dos valores obtidos em função das variáveis força de contração e pigmentação. Para comparações individuais entre os diferentes grupos foi aplicado o teste complementar de Tukey, com nível de significância de 5%, com $p < 0,05$.

5 Resultados

5 RESULTADOS

5.1 Valores de contração

As médias dos valores de contração de polimerização dos grupos testados estão descritos na tabela 1.

TABELA 1 – Média dos valores da força de contração (N), desvio padrão e análise estatística dos diferentes grupos estudados.

Densidade de potência	Resina composta	Filtek™ Z250		Filtek™ Z350XT	
		Média ± DP	Análise Estatística	Média ± DP	Análise Estatística
300 mW/cm ² (6 J/cm ²)		13,52 ± 0,51	Aa	10,79 ± 1,99	Ab
600 mW/cm ² (12 J/cm ²)		17,74 ± 1,06	Ba	18,20 ± 1,35	Ba
1000 mW/cm ² (20 J/cm ²)		19,88 ± 1,49	Ca	26,37 ± 2,13	Cb
1550 mW/cm ² (31 J/cm ²)		25,28 ± 2,04	Da	33,98 ± 2,34	Db

*letras maiúsculas, análise estatística entre linhas

**letras minúsculas, análise estatística entre colunas

A avaliação estatística dos resultados foi realizada pela análise de variância (ANOVA) a dois critérios, onde se encontrou interação entre os fatores de variação analisados, resinas compostas e densidades de potência. Para evidenciar essas diferenças, aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), que permitiu a comparação individual entre os grupos, identificando os fatores responsáveis pela significância estatística.

Os valores das médias de contração para os grupos estão ilustrados nos gráficos 1 e 2 [força (N) X tempo (s)] para as resinas compostas, Filtek Z250 e Filtek Z350XT, respectivamente.

GRÁFICO 1 – Avaliação comparativa das médias das forças (N) geradas durante a contração de polimerização da resina composta Filtek Z250 em função das diferentes densidades de potência.

GRAFICO 2 – Avaliação comparativa das médias das forças (N) geradas durante a contração de polimerização da resina composta Filtek Z350XT em função das diferentes densidades de potência.

As densidades de potência e os valores de contração de polimerização apresentaram uma proporcionalidade, de forma que quanto menor a densidade de potência utilizada, menor a contração de polimerização, independente da resina composta avaliada.

Houve diferenças estatisticamente significantes entre as densidades de potência e entre as resinas compostas, com exceção quando foi utilizado 600 mW/cm². Para essa densidade de potência, os valores de contração de

polimerização encontrados mostraram comportamento semelhante para as duas resinas compostas.

5.2 Valores de pigmentação

As médias dos valores de pigmentação (ΔE) após imersão em café dos grupos testados estão descritas nas tabelas 2 e 3 para as resinas Filtek Z250 e Filtek Z350XT, respectivamente.

TABELA 2 – Média dos valores do ΔE (alterações de cor) após imersão em café, desvio padrão e análise estatística dos diferentes grupos estudados para a resina Filtek Z250.

Densidades de potência Períodos de avaliação		Resina Filtek™ Z250							
		300 mW/cm ²		600 mW/cm ²		1000 mW/cm ²		1550 mW/cm ²	
		Média ± DP Análise Estatística		Média ± DP Análise Estatística		Média ± DP Análise Estatística		Média ± DP Análise Estatística	
6 horas		2,66 ± 0,16	a	2,62 ± 0,30	a	1,61 ± 0,19	a	1,52 ± 0,25	b
12 horas		3,51 ± 0,15	a	2,81 ± 0,48	ab	2,12 ± 0,32	bc	1,92 ± 0,23	c
1 dia		4,23 ± 0,22	a	3,90 ± 0,47	a	3,00 ± 0,18	b	2,74 ± 0,46	b
2 dias		6,39 ± 0,51	a	5,63 ± 0,43	ab	5,09 ± 0,29	bc	4,49 ± 0,43	c
3 dias		7,77 ± 0,52	a	6,54 ± 0,61	bd	6,14 ± 0,47	cd	5,08 ± 0,45	e
4 dias		8,72 ± 0,66	a	7,41 ± 0,79	bd	7,01 ± 0,37	cd	5,95 ± 0,37	e
5 dias		8,52 ± 0,68	a	7,72 ± 0,78	ab	7,45 ± 0,50	ab	6,63 ± 0,37	b

*letras minúsculas distintas representam diferenças estatísticas significantes entre colunas

TABELA 3 – Média dos valores do ΔE (alterações de cor) após imersão em café, desvio padrão e análise estatística dos diferentes grupos estudados para a resina Filtek Z350XT.

Densidades de potência Períodos de avaliação	Resina Filtek™ Z350XT							
	300 mW/cm ²		600 mW/cm ²		1000 mW/cm ²		1550 mW/cm ²	
	Média ± DP Análise Estatística		Média ± DP Análise Estatística		Média ± DP Análise Estatística		Média ± DP Análise Estatística	
6 horas	5,04 ± 1,18	a	5,10 ± 0,73	a	5,12 ± 0,58	a	3,94 ± 0,16	b
12 horas	7,39 ± 0,56	a	6,68 ± 0,63	a	6,68 ± 0,22	a	5,28 ± 0,18	b
1 dia	8,45 ± 0,51	a	7,55 ± 0,78	bd	7,06 ± 0,21	cd	6,03 ± 0,22	e
2 dias	9,71 ± 0,56	a	8,67 ± 0,51	bd	8,16 ± 0,16	cd	7,34 ± 0,36	e
3 dias	11,13 ± 0,16	a	9,93 ± 0,59	b	9,02 ± 0,43	c	8,00 ± 0,33	d
4 dias	11,78 ± 0,32	a	10,51 ± 0,57	b	9,37 ± 0,52	c	8,24 ± 0,32	d
5 dias	12,57 ± 0,51	a	10,93 ± 0,79	bd	9,95 ± 0,51	cd	8,84 ± 0,25	ce

*letras minúsculas distintas representam diferenças estatísticas significantes entre colunas

A avaliação estatística dos resultados foi realizada pela análise de variância (ANOVA) a dois critérios, demonstrando haver significância estatística em função das diferentes densidades de potência utilizadas para cada uma das resinas compostas. Para evidenciar os grupos responsáveis pela significância estatística aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), permitindo a comparação individual para cada tipo de resina composta em função das densidades de potência.

De maneira semelhante à análise estatística obtida para a avaliação das forças de contração de polimerização, as densidades de potência e as médias de pigmentação apresentaram uma proporcionalidade, porém com uma relação inversa, ou seja, quanto menor a densidade de potência utilizada, maior a taxa de pigmentação.

Pela observação das tabelas 2 e 3, evidenciam-se tipicamente diferenças estatisticamente significantes entre as densidades de potência mínima (300 mW/cm²) e máxima (1550 mW/cm²) em todos os períodos de observação e para as duas resinas compostas.

6 Discussão

6 DISCUSSÃO

Durante a reação de polimerização das resinas compostas, ocorre uma aproximação das moléculas monoméricas promovendo uma alteração volumétrica do compósito, denominada contração de polimerização. O início da reação de polimerização das resinas compostas à base de metacrilatos se dá por meio da quebra das duplas ligações em ligações simples, e a extensão dessa transformação de monômeros em polímeros é denominada grau de conversão. Portanto, o grau de conversão dos monômeros relaciona-se à porcentagem de ligações duplas de carbono consumidas e a transformação de ligações duplas para simples caracteriza a eficiência de polimerização. Existe um limite de conversão que não é possível ultrapassar na prática, mesmo aumentando-se a energia luminosa fornecida que, de forma geral, se encontra entre 50 a 60% para compósitos à base de Bis-GMA. Entretanto, isso não implica que 50 a 40% das moléculas de monômero fiquem sem reagir, uma vez que um dos dois grupos de metacrilato por molécula de dimetacrilato pode ter reagido e sido covalentemente ligado à estrutura do polímero, ficando como grupos pendentes. (RUEGGEBERG 1999).

Esse processo de polimerização envolve uma alteração de volume que tem três origens: uma contração química, uma contração térmica e uma contração pós-gel (PEUTZFELDT, 1997). A contração química é atribuída à mudança do espaçamento interatômico que ocorre no momento da formação da rede polimérica. As moléculas de monômeros que se encontravam separadas umas das outras, numa distância determinada por forças de coesão secundárias, denominadas van der Waals, estabelecem ligações covalentes. Como a distância de 0,3 a 0,4 nm determinada pelas forças de van der Waals entre as moléculas de monômeros é maior quando comparada à distância de 0,15 nm das ligações covalentes estabelecidas durante a reação, ocorre a aproximação dessas moléculas, resultando em uma redução no volume do material. (PEUTZFELDT, 1997). A contração térmica ocorre devido à reação de polimerização ser exotérmica, aquecendo a resina que contrai quando retorna à temperatura ambiente. Já a contração pós-gel ou rígida é a fração da contração volumétrica total responsável pelo desenvolvimento do estresse ou tensão de contração (BRAGA, BALLESTER; FERRACANE, 2005; BOARO et al.,

2010). Quando um material se altera volumetricamente e está aderido a outro substrato que não acompanha essa alteração, surge uma tensão (CARVALHO et al., 1996). Deve-se considerar que a magnitude das tensões de contração de polimerização sofrida por uma resina composta pode ser determinada pela sua composição, fração de volume de carga e pelo grau de conversão do material (BRAGA, BALLESTER; FERRACANE, 2005). A geração dessas tensões no material restaurador pode ou não trazer prejuízos à interface adesiva, dependendo do momento e velocidade em que se desenvolve.

A análise da contração de polimerização dos compósitos pode ser determinada por meio do emprego de diferentes técnicas e metodologias, tais como: ensaios mecânicos, análise de elemento finito (VERSLUIS; TANTBIROJN; DOUGLAS, 1998), emprego de extensores elétricos (*strain gauge*) (LOPES, 2003) e fotoelasticidade (KINOMOTO, et al., 1999; LOPES, 2003), dentre outras metodologias. Uma vez que as forças geradas durante a contração de polimerização dos compósitos não podem ser medidas diretamente nas cavidades (SAKAGUCHI, 1999), métodos indiretos foram desenvolvidos, sendo que a utilização de ensaios mecânicos para determinar a tensão gerada durante a contração das resinas compostas é a metodologia mais empregada para este fim e apresenta algumas variáveis que são objetos de críticas e discordâncias entre pesquisadores, tornando difícil a comparação dos resultados apresentados em diferentes trabalhos da literatura. Sem dúvida a utilização da máquina de ensaio mecânico, associada a uma célula de carga, possibilita que as tensões transmitidas pela contração de polimerização dos compósitos a outro substrato possam ser determinadas numericamente, além de possibilitar o delineamento da curva força/tempo correspondente à alteração sofrida durante o processo de polimerização ou da cinética de polimerização (MONDELLI, 2005).

O teste empregado neste estudo baseou-se na metodologia utilizada por Davidson, De Gee e Feilzer (1984) e Feilzer, De Gee e Davidson (1987), mas com modificação da configuração da plataforma para obtenção de corpos-de-provas retangulares e não cilíndricos, no sentido de permitir a transmissão uniforme da luz pelo espécime durante a fotoativação. Outro aspecto adotado para a realização dos testes foi a adoção de um sistema considerado como não rígido, pelo fato de não apresentar um sistema de reposicionamento das bases metálicas do dispositivo de

teste. Isso ocorre porque, quanto menor for a oposição à contração de polimerização do compósito, menor será a força desenvolvida pelo mesmo. Durante os ensaios, o braço superior móvel da máquina de ensaio não sofre movimentação para compensar a contração de polimerização dos compósitos inseridos entre as bases metálicas. Dessa maneira, as forças decorrentes da contração de polimerização são determinadas apenas pela sensibilidade de deformação da célula de carga, propiciando ainda o delineamento gráfico da curva {força (N) X tempo (s)} para cada corpo-de-prova.

Inúmeros são os fatores que podem contribuir para o desenvolvimento de tensões de contração de polimerização, podendo ser divididos em dependentes da formulação do material tais como: o conteúdo de carga, química e estrutura dos monômeros, interações entre a carga e a matriz orgânica, e fatores relacionados à polimerização do material como a taxa de polimerização, a concentração de catalisadores e inibidores, o fator cavitário, a técnica de inserção e método de ativação e polimerização (FERRACANE, 2005). O objetivo deste trabalho foi determinar a influência que as diferentes densidades de potência podem gerar no desenvolvimento da contração de polimerização, buscando padronizar a maioria dos fatores elencados acima e que poderiam influenciar na geração de forças durante a contração de polimerização, tendo ainda como fator de variação a análise comportamental de duas resinas compostas com formulações distintas. Dentre os fatores citados acima, relacionados à polimerização do material, realizou-se a padronização do volume de resina composta em 12 mm³. Além disso, tendo em vista que existe uma relação direta entre o fator cavitário ou fator C e o desenvolvimento das tensões de contração, onde quanto maior for este fator, maior será o desenvolvimento das tensões (DAVIDSON; FEILZER, 1997), foi determinado o Fator C em 1,5. Desse modo, as bases metálicas (superior e inferior) acopladas à célula de carga e na máquina de ensaios compunham duas paredes aderidas e a distância entre as bases proporcionava quatro superfícies laterais livres, tornando a configuração cavitária constante. A técnica de inserção da resina composta também foi padronizada, para todos os grupos estudados, sendo um incremento único com 1 mm de espessura. O método de ativação da luz também seguiu um padrão para todos os grupos, que foram submetidos ao modo contínuo de polimerização, alterando-se somente as densidades de potência.

A intensidade ou densidade de potência da luz pode interferir na polimerização das resinas compostas (RUEGGEBERG et al., 1993; RUYTER, 1985), e, especificamente, configura-se como um fator decisivo na cinética de polimerização e, conseqüentemente, na velocidade dessa reação (RUEGGEBERG, 1999).

A partir dos resultados obtidos, nos testes de contração de polimerização do presente estudo a primeira hipótese nula pode ser rejeitada, haja vista que a variação das densidades de potência da fonte de luz, do sistema LED, implicou em forças de contração de polimerização com significativas magnitudes para as resinas compostas analisadas. A Tabela 1 mostra que as forças de contração variaram de 13,52 a 25,28 N para a resina Filtek Z250 e de 10,79 a 33,98 N para a resina Filtek Z350XT, sendo os menores valores observados para a menor densidade de potência (300 mW/cm²) e as maiores forças de contração atingidas com a densidade máxima do aparelho (1550 mW/cm²), corroborando as observações de outros estudos (DAVIDSON; DE GEE, 2000; DAVIDSON, 2000; EMANI; SÖDERHOLM; BERGLUND, 2003; CALHEIROS et al., 2004; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2005; BRAGA; BALLESTER; FERRACANE, 2005).

Pelos gráficos 1 e 2 pode ser observado o delineamento das tensões geradas durante a indução das forças de contração de polimerização das duas resinas compostas, notando-se pela configuração gráfica das curvas [força (N) X tempo (s)] que a aplicação de densidade de potência mais baixa (300 mW/cm²) proporcionou uma delimitação menos acentuada e posicionada mais horizontalmente. Essa configuração denota uma cinética de polimerização mais lenta, que possibilitaria um maior escoamento viscoelástico do material, alívio das tensões e, conseqüentemente, menor geração de forças de contração durante o tempo de fotoativação, compreendendo que grande proporção da contração volumétrica total ocorre enquanto o material apresenta-se num estado não rígido ou na fase pré-gel (LIM et al., 2002). Com a polimerização ocorrendo mais lentamente, as propriedades físicas dos polímeros são melhoradas, pois cadeias mais longas e com maior peso molecular são obtidas (RUEGGEBERG, 1999).

Por outro lado, quando da fotoativação com altas densidades de potência (1000 e 1550 mW/cm²), pode-se notar uma sensível modificação no delineamento

das curvas força/tempo, como reflexo da aceleração da velocidade de reação de polimerização e menor possibilidade de extensão da fase pré-gel para alívio das tensões, com elevação abrupta das referidas curvas pela força de contração desenvolvida, ocasionando uma maior tendência de verticalização a partir do ponto inicial da curva. Dessa maneira, pela cinética de polimerização apresentada pelas duas resinas compostas, pode-se inferir que a possibilidade de relaxamento das forças de contração, por meio do escoamento viscoelástico ou fluxo de escoamento das resinas compostas utilizadas, é consideravelmente diminuída em função do menor período de tempo da fase pré-gel, considerando que ocorre uma passagem muito rápida de um estado menos viscoso (pré-gel) para um estado rígido (pós-gel). Portanto, até o ponto gel, que define o momento em que a cadeia polimérica da resina composta não possibilita mais um escoamento para alívio das tensões, as forças de contração podem ser compensadas pelo rearranjo molecular dessa rede polimérica, o que caracteriza o fluxo de escoamento do material, com importância primordial no desenvolvimento das tensões de contração de polimerização (FEILZER; DE GEE; DAVIDSON, 1990; DAVIDSON; FEILZER, 1997). À medida que o compósito aumenta o seu módulo de elasticidade ou rigidez, o material vai se tornando mais rígido em função da formação de cadeias poliméricas mais curtas e com maior quantidade de ligações cruzadas (HACKMAN; POHJOLA; RUEGGEBERG, 2002; VERSLUIS; TANTBIROJN; DOUGLAS, 2004). Portanto, com a alteração do módulo de elasticidade, o fluxo de escoamento do compósito também se altera, influenciando na geração de tensões de contração de polimerização, e quando do desenvolvimento da rigidez da resina (fase pós-gel), verifica-se uma grande redução no escoamento desse polímero, aumentando-se a concentração das tensões (DAVIDSON; DE GEE, 1984; SAKAGUCHI et al., 1992).

Considerando que a aplicação de altas densidades de potência é comumente associada à melhoria das propriedades mecânicas do material, deve-se considerar a possibilidade de alteração do comportamento viscoelástico da resina composta, especialmente nos primeiros segundos de fotoativação, onde o material se comportará como um sistema de forças, tendo por um lado o sistema adesivo para estabelecer uma máxima união ou adesão com as paredes cavitárias, mas por outro lado a magnitude inerente da contração da resina traduzirá o movimento em força contrária, que poderá superar a ligação adesiva e promover a formação de fendas

marginais. Para se ter um parâmetro da quantidade de contração de polimerização, comumente observa-se que para cada molécula C=C reagindo ocorre a formação de uma ligação simples C-C, com 23 cc de contração de polimerização e, conseqüentemente, cerca de 1,5 a 3% de contração volumétrica, que pode resultar em estresse às paredes cavitárias e fendas marginais (RUEGGEBERG, 1999). Portanto, uma taxa de reação de polimerização rápida praticamente elimina o tempo permitido para o fluxo viscoso, estimando que a matriz polimérica torna-se rígida em poucos segundos depois de um grau relativamente baixo de conversão (BRAGA; BALLESTER; FERRACANE, 2005).

Sem dúvida, um maior grau de conversão é desejável para obter melhores propriedades mecânicas e físicas dos compósitos (CARVALHO et al., 1996; WATTS; CASH, 1991). Porém a relação entre a tensão de contração de polimerização e o grau de conversão se caracteriza como uma relação não linear, onde elevadas densidades de potência não contribuem necessariamente para um aumento significativo no grau de conversão, mas podem acentuar o desenvolvimento de tensões de contração (CALHEIROS et al., 2004). Atualmente, verifica-se uma tendência dos fabricantes de aparelhos fotoativadores, especialmente do sistema LED, de disponibilizarem equipamentos com altas densidades de potência, ultrapassando 1500 mW/cm², sem considerar que há um limite no grau de conversão que não é possível ultrapassar na prática, mesmo com o aumento da energia luminosa fornecida (PILO; OELGIESSER; CARDASH, 1999). A indução da polimerização implica na mobilidade de crescimento da cadeia polimérica. A aceleração do processo de ativação, com maiores densidades de potência, restringe a propagação dessas cadeias e, portanto, reduz o grau de conversão (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2005). Assim, a hipótese de que maiores valores de densidade de potência proporcionam um maior grau de conversão deve ser considerada com a devida cautela.

Comparando-se os resultados decorrentes da contração de polimerização das duas resinas compostas estudadas, valores semelhantes foram observados apenas com a aplicação de densidade de potência de 600 mW/cm², sendo esta a única densidade de potência que não mostrou diferença estatisticamente significativa entre as resinas compostas quando submetidas ao mesmo protocolo de polimerização (Tabela 1). Não obstante as duas resinas estudadas apresentarem composições

semelhantes, no que diz respeito à matriz orgânica, como ilustrado no quadro 2, não há referência do fabricante sobre a composição química e fração dos componentes orgânicos, incluindo monômeros, diluentes, agentes fotoiniciadores, amina terciária e inibidores de polimerização, o que certamente contribuiu para o comportamento distinto das resinas compostas empregadas, tanto nos testes de contração de polimerização como de pigmentação. Em face do exposto, a composição orgânica constitui, por si só, um fator de variação de extrema importância sobre os resultados obtidos, fato que expõe a heterogeneidade entre materiais de um mesmo fabricante, quando submetidos às mesmas condições de fotoativação. Considerando que para cada tipo ou marca comercial de resina composta encontram-se diferentes concentrações de cada um dos componentes da matriz orgânica, de acordo com as características composicional desenvolvidas pelos fabricantes e, diante dos resultados encontrados neste estudo, podem-se correlacionar os maiores valores de contração, sob as mesmas condições de polimerização, com a incorporação diferenciada do diluente TEGDMA nas resinas analisadas, corroborando os resultados obtidos por Kleverlaan e Feilzer (2005).

De acordo com o fabricante das resinas compostas, na Filtek Z250 grande parte desse comonômero foi substituído por uma mistura de UDMA e BisEMA. Em contrapartida, a resina Filtek Z350XT, que representa a fusão das resinas compostas Filtek Z350 e Filtek Supreme XT, apresenta em sua composição, o monômero PEGDMA e o TEGDMA. A presença desse último componente determina algumas características ao material, como o alto número de duplas ligações por unidade de peso na cadeia principal flexível da molécula, proporcionando a ocorrência de alto grau de conversão durante a polimerização. Outrossim, sua baixa viscosidade permite maior incorporação de carga à matriz orgânica além de proporcionar alto grau de ligações cruzadas e de moléculas compactas que criam uma matriz resinosa muito resistente. Entretanto, algumas desvantagens são apontadas pela presença de TEGDMA, tais como: por ser um componente relativamente hidrofílico, com peso molecular relativamente baixo, apresenta maior tendência de envelhecimento do compósito não polimerizado; o baixo peso molecular e o alto número de duplas ligações por unidade de peso proporcionam um alto grau de ligações cruzadas, produzindo um compósito rígido e denso com alta contração. Estudos de diversos autores (SIDERIDOU; KARABELA; VOULOUDI,

2011; SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2003; SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002; KLEVERLAAN; FEILZER, 2005) mostraram a influência desse componente (TEGDMA) nas características dos compósitos, destacando que o aumento da contração de polimerização da resina deve-se ao maior grau de conversão, quando comparado aos monômeros BisGMA e UDMA (SIDERIDOU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002). Ademais, matrizes ricas em TEGDMA mostraram aumento da contração causada por um efeito antiplastificante, permitindo uma maior compactação das cadeias poliméricas (GONÇALVES et al., 2011). Tais evidências permitem justificar os resultados observados na avaliação das forças de contração de polimerização para a resina composta Filtek Z350XT, que apresenta maior incorporação do TEGDMA em relação à resina Filtek Z250, demonstrando valores de contração significativamente maiores quando da fotoativação com densidades de potência de 1000 e 1550 mW/cm².

Além das observações relacionadas à parte orgânica das duas resinas, deve-se considerar a possível influência da temperatura no processo de polimerização das resinas compostas, quando da fotoativação com as diferentes densidades de potência, considerando que o aumento da temperatura tem influência na mobilidade das moléculas monoméricas e, conseqüentemente, na aceleração do grau de conversão (UHI; MILLS; JANDT, 2003). Pela observação inicial das temperaturas emitidas pela fonte de luz utilizada, nas diferentes densidades de potência empregadas, foi possível constatar o valor de 33°C para a irradiância de 300 mW/cm², com aumento subsequente para as densidades 600 mW/cm² (40 °C), 1000 mW/cm² (55 °C) e para 1550 mW/cm² observou-se um aumento expressivo da temperatura em 70 °C, fato que certamente concorreu para a indução e aceleração do processo de polimerização e, conseqüentemente, na geração de forças durante os testes de contração de polimerização, confirmando as considerações realizadas por Emani, Söderholm e Berglund (2003), sendo em menor grau para as densidades mais baixas (300 e 600 mW/cm²) e em maior magnitude para as maiores densidades de potência (1000 e 1550 mW/cm²).

Além da composição orgânica, as partículas inorgânicas podem influenciar o comportamento estrutural das resinas compostas utilizadas. Dentro desse contexto, a resina composta Filtek Z250 é classificada como uma resina micro-híbrida com 60% do seu volume ou 78% em peso de partículas inorgânicas de zircônia e sílica.

Já a Filtek Z350XT configura-se como uma resina nanoparticulada, com partículas de sílica coloidal com tamanhos bem menores e mais uniformes, sendo responsáveis por 63,3% do seu volume ou 78,5% em peso (PERFIL TÉCNICO 3M). Pode-se observar que a quantidade de partículas de carga inorgânica presente nas duas resinas é bastante equivalente. Porém o tipo e o modo de obtenção dessas partículas apresentam significativas diferenças. As partículas do nanoaglomerado são de zircônia/sílica e compõem cerca de 90% das partículas inorgânicas presentes, consistindo de agregados unidos por nanopartículas. A adição dessas nanopartículas às formulações contendo nanoaglomerados reduz o espaço intersticial entre as partículas, aumentando a quantidade de carga. Entretanto a concentração de partículas, assim como o conteúdo orgânico, afeta a tensão de polimerização, porém a matriz orgânica apresenta uma maior influência, sugerindo que é possível reduzir o estresse de polimerização, modificando a composição orgânica da resina sem sacrificar o conteúdo de carga, sendo o principal desafio desenvolver formulações com baixa contração sem sacrificar o grau de conversão (GONÇALVES et al., 2011).

Tendo em vista a influência a variação das densidades de potência e a disseminação no mercado odontológico de aparelhos com alta densidade de potência, chegando próximo a 2000 mW/cm², em detrimento às fontes de luz com menores densidades de potência pode-se relacionar trabalhos de pesquisa (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2005; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005) que têm demonstrado efeitos adversos, especialmente quanto à indução de tensões durante o processo de polimerização, salientando que a aplicação de menores densidades de potência, embora com tempo proporcional para atingir a mesma energia radiante de fontes com maior irradiância, promove uma extensão da fase pré-gel pela menor velocidade da cinética de polimerização nos primeiros segundos, além de proporcionar maior grau conversão do material. Portanto, de acordo com Asmussen e Peutzfeldt (2005), melhores propriedades podem ser obtidas com densidades de potência intermediárias em períodos mais prolongados de exposição à luz.

Assim, deve-se salientar que as propriedades finais dos materiais fotossensíveis não dependem apenas do fator relacionado à composição intrínseca dos mesmos, mas também dos parâmetros de fotoativação, uma vez que existe grande sujeição em função do modo como o material será ativado durante a fase de

polimerização. Portanto, para qualquer formulação do material, as características de polimerização serão governadas principalmente pela efetividade da fonte de irradiação, considerando a densidade de potência ou intensidade de luz emitida, a distribuição da mesma no espectro de luz visível, a distância da fonte ativadora e o tempo de ativação (LEONARD, 2002).

Outros aspectos estão intimamente relacionados ao comportamento clínico de restaurações de resinas compostas fotoativadas, podendo-se destacar, entre outros, a estabilidade de cor em decorrência do processo de polimerização. Apesar das resinas compostas serem amplamente utilizadas, devido às suas excelentes propriedades estéticas, é grande a preocupação quanto ao seu potencial de pigmentação, devido à frequente ingestão de alimentos e bebidas com substâncias corantes, além de descolorações intrínsecas devido às reações físico-químicas nas camadas internas da restauração (STOBER; GILDE; LENZ, 2001). Assim, a estabilidade de cor da resina composta assume um papel crucial no sucesso do tratamento restaurador estético, pois a alteração dessa propriedade pode implicar em substituição prematura das restaurações (DIETSCHI et al., 1994). A pigmentação ou alteração de cor por substâncias corantes ocorre na medida em que estas são incorporadas ao compósito, devido ao potencial hidrofílico das resinas compostas após o processo de polimerização. Nesse sentido, a qualidade da cadeia polimérica ou grau de conversão estabelecido pode, entre outros fatores, impor limites na sorção de água, haja vista que a densidade de ligações entre as cadeias poliméricas, estabelecida durante o procedimento de polimerização, resulta numa diminuição significativa da permeabilidade de água do polímero. Assim, a natureza hidrofílica de um polímero é em grande parte uma função química de seus monômeros e de ligações de suas cadeias poliméricas, desempenho este avaliado para os diferentes materiais à base de monômeros dimetacrilato: sistemas adesivos e resinas experimentais (MALACARNE et al., 2006). Os fatores que concorrem para a alteração de cor das resinas compostas têm sido classificados como extrínsecos e intrínsecos (LEE, POWERS, 2005). A descoloração extrínseca do compósito ocorre por um processo em que as substâncias corantes presentes na dieta ou incorporadas em agentes terapêuticos, dentre outros, entram em contato com o material, incorporando-se por meio da absorção ou adsorção (TOPCU et al., 2009). Os fatores intrínsecos ocorrem em função das características da matriz orgânica,

como a formulação dos monômeros, o tamanho e distribuição das partículas de carga, a composição e quantidade de fotoiniciador e pigmentos (JANDA et al., 2007a).

Desse modo, a sorção e a solubilidade podem ser afetadas por diferentes fatores, como variações na composição e da capacidade hidrofílica da matriz resinosa, que depende das características dos componentes monoméricos e sua quantidade na matriz orgânica (JANDA et al., 2007a; TOPCU et al., 2009; SIDERIDOU et al., 2003; SILVA et al., 2008; TOLEDANO et al., 2003; MALACARNE et al., 2006). Vários estudos têm mostrado que a sorção de água é altamente dependente do material (MALACARNE et al., 2006; JANDA et al., 2007b) e uma correlação significativa tem sido encontrada entre sorção e partículas de carga/matriz resinosa (JANDA et al., 2007b).

Diferentes soluções corantes têm sido avaliadas com o intuito de mostrar a susceptibilidade das resinas compostas ao manchamento provocado por tais agentes em um curto período de tempo (LUCE, CAMPBELL, 1988; UM; RUYTER; 1991). As soluções mais utilizadas nos testes de estabilidade de cor têm sido: café, vinho, Coca-Cola e chá (ERTAS et al., 2006; YAZICI et al., 2007; TOPCU et al., 2009; NASIM et al., 2010; PARK et al., 2010). No presente estudo optou-se pelo café, por ser uma bebida rotineiramente ingerida por grande parte da população e com alto potencial de pigmentação, de forma que pudesse revelar possíveis alterações em decorrência da variação das densidades de potência.

Para possibilitar a avaliação da alteração de cor de compósitos resinosos, diferentes métodos têm sido utilizados, desde técnicas de análise visuais diretas dos corpos-de-prova, com o auxílio de escalas de cor, assim como análises instrumentais por meio do uso de colorímetros e espectrofotômetros. As análises diretas, por serem subjetivas, apresentam baixa correlação de acerto entre os examinadores (OKUBO et al., 1998), enquanto que as instrumentais tendem a apresentar resultados mais reprodutíveis. A colorimetria, assim como a espectrofotometria, aplicadas *in vivo* ou *in vitro*, podem tornar possível os estudos dos numerosos parâmetros relacionados à estabilidade de cor (DIETSCHI, 1994). Os colorímetros são dependentes do tipo de iluminante (LEE; LIM; KIM, 2004; PARK; LEE; LIM, 2006) e podem ser influenciados pelo padrão de fundo de leitura

dos corpos-de-prova (LEE; POWERS, 2007). Já os espectrofotômetros, por utilizarem uma câmara escura e condições de iluminação padronizadas, apresentam um maior índice de repetição de valores de medida, além de poderem ser utilizados diferentes sistemas de mensuração das alterações de cor, como o sistema de Munsell, o CIE-Lab, o CIEDE 2000, ou ainda o DIN 99 (CUI et al., 2002; LEE, 2005; LEE; POWERS, 2005). Porém, existe uma tendência de os trabalhos relacionados às resinas compostas usarem o sistema CIE-Lab para este fim (JANDA et al., 2004; JANDA et al., 2005; LEE; POWERS, 2005; ERTAS et al., 2006; YAZICI et al., 2007; RUTTERMANN et al., 2008; TOPCU et al., 2009; NASIM et al., 2010; PARK et al., 2010). Por essa razão, optou-se por utilizar o mesmo sistema no presente estudo. Os resultados obtidos, independente do período de avaliação, evidenciaram alterações de cor, que devido à escolha da solução corante escolhida, apresentaram um aumento dos valores da variável a^* (consiste no eixo de cores verde (-a) e vermelho (+a)) e b^* (eixo das cores azul (-b) e amarelo (+b)). Já em relação à luminosidade da amostra, denominada L^* , observou-se uma diminuição dos valores.

Dentro do sistema de cores do universo CIE-Lab, a alteração de cor de um corpo é avaliada pelo ΔE que representa a distância, em linha reta, da posição determinada pelos pontos cartesianos, tomando como referência as coordenadas L^* , a^* e b^* na esfera de cores do sistema. Sendo os valores de ΔE números naturais, há uma tendência de se representar uma escala de valores com o intuito de estabelecer uma relação entre o valor do ΔE e a capacidade de o olho humano de detectar tal diferença de cor (RAGAIN; JOHNSTON, 2000; RUYTER; NILNER; MOLLER, 1987). Embora existam divergências entre autores sobre qual seria o valor numérico do ΔE , que determinaria uma diferença de cor, tornando uma restauração clinicamente inaceitável, valores de ΔE a partir de 3,3 começam a ser considerados inaceitáveis por 50% dos observadores e valores de ΔE acima de 3,8 são considerados inaceitáveis por todos os observadores (LEE et al., 2005; RUYTER; NILNER; MOLLER, 1987). Os valores de ΔE encontrados para as resinas compostas Filtek Z250 e Filtek Z350XT mostraram relação direta com a densidade de potência utilizada e com o tempo de imersão na solução corante, onde valores de ΔE acima de 3,3 foram encontrados para todos os grupos após dois dias de imersão em café.

Os resultados, ilustrados nas tabelas 2 e 3 evidenciam uma relação direta (correlação positiva) entre a variação da irradiância com os valores de pigmentação,

ou seja, quanto maior a densidade de potência, menores foram os valores de pigmentação encontrados. Esse resultado pode ser correlacionado com a estrutura da rede polimérica formada (FERRACANE, 2006), haja vista que nos compósitos à base de dimetacrilato as moléculas de água absorvidas se difundem por meio da rede polimérica e são aprisionadas nos espaços intermoleculares do polímero. A quantidade de água absorvida é dependente da afinidade físico-química dos grupos poliméricos pela água e do volume livre existente na rede, o qual depende da densidade de ligações da rede polimérica (SIDERIDOU et al., 2003). Considerando que a estrutura da rede polimérica formada influencia a quantidade de água a ser absorvida (SILVA et al., 2008; FERRACANE, 2006), pode-se inferir que a menor densidade de potência tenha proporcionado a formação de uma rede polimérica com baixa densidade de ligações cruzadas ou menor grau de conversão (SOH; YAP, 2004). Sabe-se que a presença de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas resulta em uma diminuição significativa na permeabilidade do polímero à água, porque o volume livre e a capacidade de intumescimento são reduzidos (FERRACANE, 2006; SIDERIDOU et al., 2003). Assim, polímeros com maior quantidade de ligações cruzadas são mais resistentes à degradação em relação à ação de um solvente, pois a sua absorção é reduzida, levando a uma menor expansão do polímero devido à redução do volume livre existente na estrutura polimérica. Pelos resultados obtidos no teste de pigmentação, envolvendo as duas marcas comerciais de resinas compostas, foi possível observar a maior tendência de alteração de cor estabelecidos pelos valores de ΔE , nos diferentes períodos de observação, quando se empregou a densidade de potência com 300 mW/cm², com um tempo de ativação de 20 segundos, conferindo uma densidade de energia de 6 J/cm².

A maior suscetibilidade à pigmentação do grupo polimerizado com a menor densidade de potência (300 mW/cm²) pode ser associada a uma estrutura polimérica menos reticulada. As resinas compostas polimerizadas em taxas mais baixas de irradiância e de energia podem levar à formação de um pequeno número de radicais livres, resultando em cadeias poliméricas com baixa densidade de ligações cruzadas (BRAGA, BALLESTER e FERRACANE, 2005), ocasionando um polímero mais linear devido à formação de poucos centros de crescimento. Já quando da utilização de taxas superiores de polimerização, causada por uma maior densidade de potência

(1550 mW/cm²), uma multiplicidade de centros de crescimento são formados, levando a uma estrutura polimérica mais ramificada e reticulada (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003). Por outro lado, as densidades intermediárias de 600 e 1000 mW/cm² evidenciaram valores de alteração de cor semelhantes e que, no período de avaliação de cinco dias, considerando a resina Filtek Z250, não demonstrou diferença estatística com a densidade de 1550 mW/cm². Tendo em vista que esta observação não foi absoluta, quando se comparam a significância estatística entre densidades de potência e períodos de avaliação, a hipótese de nulidade não pode ser aceita em sua totalidade.

Quando da comparação dos valores observados para as duas resinas compostas, menores alterações de cor podem ser visualizadas para a resina composta micro-híbrida Filtek Z250, em todos os períodos de avaliação. Considerando que os dois compósitos avaliados são do mesmo fabricante e apresentam formulações semelhantes, pode-se relacionar a maior alteração de cor demonstrada pela composta Filtek Z350XT pelo fato de a mesma apresentar uma maior quantidade do monômero TEGDMA em sua composição, o que pode ter favorecido uma maior absorção da substância corante devido à característica de maior hidrofília desse componente. Ademais, estudo de ERTAS et al., 2006, salientam que as partículas aglomeradas, chamadas de “nanoclusters”, presentes na resina Filtek Z350XT, evidenciam menor resistência à alteração de cor do que as micropartículas de zircônia/sílica, presentes na resina Filtek Z250, aumentando relativamente a sorção de água assim como de pigmentos, o que justificaria a diferença de resultados observados entre as duas resinas compostas avaliadas.

Pode-se correlacionar outros parâmetros desse material, como a resistência ao desgaste, avaliada por Asenjo-Martínez (2004), que utilizou como protocolo de fotoativação para a resina Filtek Z250 a aplicação de densidade de potência de 300 mW/cm², por 20 segundos (6 J/cm²), encontrando uma menor resistência ao desgaste (34,63 µm) quando comparada à utilização da densidade de potência de 300mW/cm² por 40 segundos (12 J/cm²) (12,95 µm). Consubstanciando essa evidência, Benetti (2007), em estudos clínico e laboratorial, utilizando a mesma resina sob condições de polimerização semelhantes, observou que as irradiâncias de 300 e 600 mW/cm², com padronização da densidade de energia em 12 J/cm², não demonstraram diferença estatística significativa, após a avaliação do grau de

conversão, da dureza Wallace e do teste de resistência ao desgaste pelo método ACTA. Verifica-se, portanto, que as evidências da literatura relacionam o melhor desempenho dos materiais fotossensíveis quando são adotados procedimentos de fotoativação com níveis de densidade de energia iguais ou superiores a 12 J/cm^2 , possibilitando que eventuais desvantagens produzidas por baixas densidades de potência possam ser compensadas pelo aumento do tempo de exposição (NUNES, 2006; RAMP; BROOME; RAMP, 2006; RUEGGERBERG, 1999; YAP; SENEVIRATNE, 2001; BENETTI, 2007).

Do ponto de vista clínico, a situação ideal procurada pelo profissional é a obtenção de uma restauração com alto desempenho em relação às solicitações mecânicas e, ao mesmo tempo, com o máximo de selamento marginal, devendo, para tanto, ter a fundamentação dos parâmetros relacionados ao processo de polimerização, especialmente quanto à influência da densidade de potência ou irradiância dos aparelhos fotoativadores. Entretanto, a conciliação de tais características parece contraditória, uma vez que pelos resultados dos testes de contração de polimerização pode-se observar que densidades de potência entre 1000 e 1550 mW/cm^2 demonstraram maiores forças de contração polimerização, durante o processo de polimerização, predispondo em algumas situações clínicas que essas tensões geradas possam promover o rompimento da ligação adesiva, quando a força de contração de polimerização ultrapassar a magnitude de união do sistema adesivo com os substratos dentários, especialmente se não houver um protocolo de modulação, durante o processo de fotoativação, que possa minimizar os efeitos da indução da contração de polimerização, especialmente nos segundos iniciais de ativação, quando da utilização de maiores densidades de potência.

Uma estratégia que tem sido utilizada para amenizar os efeitos das tensões geradas durante o processo de polimerização tem sido o controle da fotoativação da resina composta por meio de técnicas que utilizam baixa densidade de potência, nos momentos iniciais, e alta nos momentos finais para a complementação da polimerização. Essa modulação pode ser conseguida pelo uso de aparelhos que apresentam ativação do tipo *soft-start*, ou por meio do afastamento inicial da ponteira de fibra óptica da fonte de luz, com posterior aproximação da mesma ponta, fornecendo maior densidade de potência nos segundos seguintes. Portanto, a utilização de um aparelho com alta densidade de potência, como de 1550 mW/cm^2 ,

deve ser concebida dentro de parâmetros operacionais que permitam a concretização de restaurações, sem os efeitos iniciais indesejáveis proporcionados durante a fotoativação e que poderão limitar o comportamento clínico inicial decorrente do processo de fotoativação.

Por outro lado, a utilização de menores densidades de potência, como de 300 mW/cm², com o tempo generalizado de 20 segundos, conforme indicação no rótulo das resinas compostas, proporcionará menores valores de forças de contração de polimerização, mas adversamente poderá ter uma subpolimerização, tornando o material mais susceptível à sorção de líquidos ou pigmentos, conforme evidenciado quando da avaliação, pelo teste de pigmentação, para as duas resinas compostas utilizadas.

Desse modo, torna-se imperativo ter a concepção da relação entre as densidades de potência das fontes de luz com o tempo de exposição necessário para o estabelecimento de uma dose de irradiância, a fim de que as restaurações tenham um padrão universal e de referência para os profissionais da área. Assim, é essencial avaliar os benefícios e prejuízos que as diferentes densidades de potência podem trazer ao resultado final da restauração, objetivando minimizar os efeitos desfavoráveis de altos e baixos valores de irradiância e, conseqüentemente, limitar possíveis danos provocados pela contração de polimerização e pelo grau de conversão da resina composta.

Sem dúvida, a determinação de um intervalo confiável de densidade de potência para a otimização das propriedades das restaurações de resina composta, como visto neste estudo, é de primordial importância. Mesmo com o todo embasamento científico sobre a importância da densidade de potência na fotoativação das resinas compostas, os fabricantes têm, de forma permanente, concentrado esforços para o desenvolvimento de novos materiais, assim como para o aprimoramento da formulação do material, mas sem considerar questões essenciais relacionadas aos parâmetros que devem ser estabelecidos pelo Cirurgião-Dentista, tais como a determinação da energia ótima de polimerização, assim como da indicação dos agentes fotoiniciadores no rótulo do produto. Igualmente, os fabricantes de fontes de luz deveriam trazer informações quanto à densidade de potência e faixa espectral emitida pelos aparelhos, possibilitando que

o emprego desses elementos permita a racionalização de condutas e técnicas restauradoras, dentro da diversidade de materiais fotoativados disponíveis no mercado odontológico.

Como um teste laboratorial tem a finalidade de estimar o possível comportamento clínico do material, a longo prazo, é comum que resultados mais evidentes sejam detectados em testes laboratoriais, quando comparados aos resultados clínicos. Assim, estima-se que evidências clínicas devam ser desenvolvidas com o objetivo de complementar os resultados laboratoriais aqui observados.

7 Conclusões

7 CONCLUSÕES

Após as observações experimentais e análise estatística dos dados obtidos, pode-se concluir que:

1. A variação da densidade de potência da fonte de luz influenciou diretamente na indução da contração de polimerização durante a fotoativação das resinas compostas à base de metacrilatos, com geração de forças significativamente maiores à medida que se aumentaram os valores de irradiância, independentemente do tipo de resina composta.
2. A variação da densidade de potência alterou de forma significativa a cor das duas formulações de resinas compostas, após imersão em solução pigmentante, evidenciando-se que o aumento progressivo da irradiância inferiu em menores valores de descoloração ΔE , assim como uma pigmentação mais acentuada para a resina composta nanoparticulada em relação à resina micro-híbrida.
3. Considerando a observação de efeitos distintos com emprego de diferentes densidades de potência, dentro de um mesmo tempo de fotoativação das resinas compostas analisadas, tanto em relação à indução da contração de polimerização quanto de alteração de cor, deve ser concebido que o fator densidade de potência não pode ser estabelecido de forma independente aos demais parâmetros técnicos relacionados à dose de irradiância, à sequência de energia necessária e ao espectro de luz requerido para a efetivação da polimerização das diferentes formulações de compósitos disponíveis.

Referências

REFERÊNCIAS

- Abate PF, Zahra VN, Macchi RL Effect of photopolymerization variables on composite hardness. *J Prosthet Dent.* 2001;86(6):632-5.
- Ansejo-Martinez MAJ. Avaliação do desgaste e da rugosidade superficial de uma resina compostas, após escovação simulada, em função de diferentes fontes de luz usadas na polimerização [dissertação]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2004.
- Anusavice KJ. *Phillips Materiais Dentários.* 11^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara; 2005.
- Asmussen E. Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res.* 1982;90(6):490-496.
- Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of composition on rate of polymerization contraction of light-curing resin composites. *Acta Odontol Scand.* 2002;60(3):146-50.
- Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of selected components on crosslink density in polymer structures. *Eur J Oral Sci.* 2001;109(4):282-5.
- 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. Polymerization contraction of resin composite vs. energy and power density of light-cure. *Eur J Oral Sci.* 2005;113(5):417-21.
- Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface. *Eur J Oral Sci.* 2003;111(3):277-9.
- Atai M, Watts DC. A new kinetic model for the photopolymerization shrinkage-strain of dental composites and resin-monomers. *Dent Mater.* 2006;22(8):785-91.
- Baseggio W. Influência de diferentes métodos de fotoativação e meios de armazenamento e a resistência à abrasão de uma resina composta [dissertação]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2007.
- Benetti AR. Avaliação clínica e laboratorial de resina composta em função da fotoativação com diferentes fontes de luz e densidades de potência [tese]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2007.

Berger SB, Palialol AR, Cavalli V, Giannini M. Characterization of water sorption, solubility and filler particles of light-cured composite resins. *Braz Dent J*. 2009;20(4):314-8.

Boaro LC, Gonçalves F, Guimarães TC, Ferracane JL, Versluis A, Braga RR. Polymerization stress, shrinkage and elastic modulus of current low-shrinkage restorative composites. *Dent Mater*. 2010;26(12):1144-50.

Bouschlicher MR, Rueggeberg FA. Effect of ramped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. *J Esthet Dent*. 2000;12(6):328-39.

Bowen RL. Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues. VI. Forces developing in direct-filling materials during hardening. *J Am Dent Assoc*. 1967;74:439-45.

Bowen RL, Nemoto K, Rapson JE. Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues: forces developing in composite materials during hardening. *J Am Dent Assoc*. 1983;106(4):475-7.

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

Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater*. 2005 Oct;21(10):962-70.

Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. *J Appl Oral Sci*. 2004;12(spe):1-11.

Brännström M. Communication between the oral cavity and the dental pulp associated with restorative treatment. *Oper Dent*. 1984;9(2):57-68.

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

Calheiros FC, Braga RR, Kawano Y, Ballester RY. Relationship between contraction stress and degree of conversion in restorative composites. *Dent Mater*. 2004;20(10):939-46.

Carmichael AJ, Gibson JJ, Walls AW. Allergic contact dermatitis to bisphenol-A-glycidyl dimethacrylate (BisGMA) dental resin associated with sensitivity to epoxy resin. *Br Dent J*. 1997;183(8):297-8.

Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent*. 1996 Jan-Feb;21(1):17-24.

- Castãnedá- Espinosa JC, Mondelli RFL. Avaliação das forças de contração na polimerização de resinas compostas ativadas com luz halógena e LED. In: Anais da 19ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica; 2002; Águas de Lindóia, SP; Águas de Lindóia: Ed. Científica, 2002. p.15.
- Caughman WF, Caughman GB, Shiflett RA, Rueggeberg F, Schuster GS. Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomaterials*. 1991;12(8):737-40.
- CIE. CIE 15.2. Colorimetry. Austria: Central Bureau of the CIE; 1986.
- Cook WD, Johansson 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.
- Condon JR, Ferracane JL. Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress. *J Am Dent Assoc*. 2000;131(4):497-503.
- Cui G, Luo MR, Rigg B, Roesler G, Witt K. Uniform Colour Spaces Based on the DIN99 Colour-Difference Formula. *COLOR research and application*. 2002;27(4):9.
- Dauviller BS, Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Visco-elastic parameters of dental restorative materials during setting. *J Dent Res*. 2000;79(3):818-23.
- Davidson CL. Activation energy, light sources and depth of cure. In: *Simposio Internazionale de Odontoiatria Adesiva e Riconstrutiva*, 4., 2000, S. Margherita Ligure, 2000. Atti... [S.l.]: Probagonsti in Odontoiatria, 2000. p. 68-72.
- Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer A. The competition between the composite dentin bond strength and the polymerization contraction stress. *J Dent Res*. 1984;63(12):1396-9.
- Davidson CL, de Gee AJ. Light-curing units, polymerization, and clinical implications. *J Adhes Dent*. 2000;2(3):167-73.
- Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res*. 1984;63(2):146-8.
- Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent*. 1997;25(6):435-40.
- Dickens SH, Stansbury JW, Choi KM, Floyd CJ. Photopolymerization kinetics of methacrylate dental resins. *Macromolecules*. 2003;36(16):6043-53.
- Dietschi D, Campanile G, Holz J, Meyer JM. Comparison of the color stability of ten new-generation composites: an in vitro study. *Dent Mater*. 1994;10(6):353-62.

- Eick JD, Welch FH. Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quintessence Int.* 1986 Feb;17(2):103-11.
- Emami N, Söderholm KJ, Berglund LA. Effect of light power density variations on bulk curing properties of dental composites. *J Dent.* 2003;31(3):189-96.
- Ertaş E, Güler AU, Yücel AC, Köprülü H, Güler E. Color stability of resin composites after immersion in different drinks. *Dent Mater J.* 2006;25(2):371-6.
- Feilzer AJ, Dauvillier BS. Effect of TEGDMA/BisGMA ratio on stress development and viscoelastic properties of experimental two-paste composites. *J Dent Res.* 2003;82(10):824-8.
- Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater.* 1990;6:167-71.
- Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stresses in composites for two different curing modes. *Dent Mater.* 1993;9(1):2-5.
- Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res.* 1987;66(11):1636-9.
- Ferracane JL. Buonocore Lecture. Placing dental composites--a stressful experience. *Oper Dent.* 2008;33(3):247-57.
- Ferracane JL, Condon JR. Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. *Dent Mater* 1992;8(5):290-5.
- 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. Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. *Dent Mater.* 2005;21(1):36-42.
- 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. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater.* 2006;22(3):211-22.
- Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R. Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *J Dent Res.* 1997;76(8):1508-16.

Floyd CJ, Dickens SH. Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. *Dent Mater.* 2006;22(12):1143-9.

Franco EB, Lopes LG. Conceitos atuais na polimerização de sistemas restauradores resinosos. *Rev Biodonto.* 2003;2(1):1-59.

Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, Märkl A. Marginal adaption of class V restorations with and without "softstart-polymerization". *Oper Dent.* 2000;25(1):26-32.

Fróes NRG. Influência no modo de fotoativação e da distância da fonte de luz no grau de conversão e na microinfiltração de um compósito [dissertação]. São Paulo (SP): Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo; 2005.

Gonçalves F, Azevedo CL, Ferracane JL, Braga RR. BisGMA/TEGDMA ratio and filler content effects on shrinkage stress. *Dent Mater.* 2011;27(6):520-6.

Hackman ST, Pohjola RM, Rueggeberg FA. Depths of cure and effect of shade using pulse-delay and continuous exposure photo-curing techniques. *Oper Dent.* 2002;27(6):593-9.

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

Hansel C, Leyhausen G, Mai UE, Geurtsen W. Effects of various resin composite (co)monomers and extracts on two caries associated microorganisms in vitro. *J Dent Res.* 1998;77(1):60-7.

Janda R, Roulet JF, Latta M, Kaminsky M, Rüttermann S. Effect of exponential polymerization on color stability of resin-based filling materials. *Dent Mater.* 2007a;23(6):696-704.

Janda R, Roulet JF, Latta M, Rüttermann S. Water sorption and solubility of contemporary resin-based filling materials. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2007b;82(2):545-51.

Janda R, Roulet JF, Kaminsky M, Steffin G, Latta M. Color stability of resin matrix restorative materials as a function of the method of light activation. *Eur J Oral Sci.* 2004;112(3):280-5.

Janda R, Roulet JF, Latta M, Steffin G, Rüttermann S. Color stability of resin-based filling materials after aging when cured with plasma or halogen light. *Eur J Oral Sci.* 2005;113(3):251-7.

Kinomoto Y, Torii M. Photoelastic analysis of polymerization contraction stresses in resin composite restorations. *J Dent.* 1998;26(2):165-71.

Kinomoto Y, Torii M, Takeshige F, Ebisu S. Comparison of polymerization contraction stresses between self- and light-curing composites. *J Dent*. 1999;27(5):383-9.

Kirkpatrick SJ. A primer on radiometry. *Dent Mater*. 2005;21(1):21-6.

Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater* 2005;21(12):1150-7.

Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater*. 1999;15(2):128-37.

Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. *Oper Dent*. 1987;12(2):53-78.

Lee YK. Comparison of CIELAB DeltaE(*) and CIEDE2000 color-differences after polymerization and thermocycling of resin composites. *Dent Mater*. 2005;21(7):678-82.

Lee YK, Lim BS, Kim CW. Influence of illuminating and viewing aperture size on the color of dental resin composites. *Dent Mater*. 2004;20(2):116-23.

Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC, Powers JM. Color and translucency of A2 shade resin composites after curing, polishing and thermocycling. *Oper Dent*. 2005;30(4):436-42.

Lee YK, Powers JM. Discoloration of dental resin composites after immersion in a series of organic and chemical solutions. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2005;73(2):361-7.

Lee YK, Powers JM. Influence of background color on the color changes of resin composites after accelerated aging. *Am J Dent*. 2007;20(1):27-30.

Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Cohen ME. Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent*. 2002;14(5):286-95.

Lim BS, Ferracane JL, Sakaguchi RL, Condon JR. Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two-step light activation. *Dent Mater* 2002;18(6):436-44.

Lopes LG. Avaliação da contração de polimerização e das tensões promovidas em função de diferentes sistemas de polimerização e de materiais restauradores estéticos [tese]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2003.

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

Luce MS, Campbell CE. Stain potential of four microfilled composites. *J Prosthet Dent*. 1988;60(2):151-4.

Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay FR, Yiu CK, Carrilho MR. Water sorption/solubility of dental adhesive resins. *Dent Mater*. 2006;22(10):973-80.

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

Mondelli RFL, Castaneda-Espinosa JC, Franco EB. Avaliação das forças de contração geradas na polimerização segundo o tipo de resina composta e modo de ativação. In: *Anais da 19ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica*; 2002, Águas de Lindóia, SP. Águas de Lindóia: Ed. Científica, 2002. p. 241.

Mondelli RFL. Influência do volume e do fator de configuração cavitária nas forças geradas durante a contração de polimerização de resinas compostas [livre docência]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2005.

Musanje L, Ferracane JL. Effects of resin formulation and nanofiller surface treatment on the properties of experimental hybrid resin composite. *Biomaterials*. 2004;25(18):4065-71.

Nagel R. Operation and diagnostic features of the VIP light. *Compend Contin Educ Dent Suppl*. 1999;(25):S55-9; quiz S74.

Nasim I, Neelakantan P, Sujeer R, Subbarao CV. Color stability of microfilled, microhybrid and nanocomposite resins--an in vitro study. *J Dent*. 2010;38 Suppl 2:e137-42.

Neumann MG, Miranda Jr. WG, Schmitt CC, Rueggeberg FA, Correa IC. Molar extinction coefficients and the photon absorption efficiency of dental photoinitiators and light curing units. *J Dent*. 2005;33(6):525-32.

Neumann MG, Schmitt CC, Ferreira GC, Correa IC. The initiating radical yields and the efficiency of polymerization for various dental photoinitiators excited by different light curing units. *Dent Mater*. 2006;22(6):576-84.

Nunes MCP. Avaliação da microdureza e desgaste por escovação simulada de uma resina composta, em função de diferentes fontes de luz e energias de ativação

[tese]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2006.

Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent*. 1998;80(6):642-8.

Park JK, Kim TH, Ko CC, García-Godoy F, Kim HI, Kwon YH. Effect of staining solutions on discoloration of resin nanocomposites. *Am J Dent*. 2010;23(1):39-42.

Park JH, Lee YK, Lim BS. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. *J Prosthet Dent*. 2006;96(6):402-11.

Pashley DH, Pashley EL, Carvalho RM, Tay FR. The effects of dentin permeability on restorative dentistry. *Dent Clin North Am*. 2002;46(2):211-25.

Pearson GJ, Longman CM. Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehabil*. 1989;16(1):57-61.

Perfil técnico 3M. Texto na internet. Disponível em:
http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/3M-ESPE/dental-professionals/resources/informacoes-cientificas/

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

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

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

Ragain JC, Jr., Johnston WM. Color Acceptance of Direct Dental Restorative Materials by Human Observers. *COLOR research and application*. 2000;25(4):8.

Ramp LC, Broome JC, Ramp MH. Hardness and wear resistance of two resin composites cured with equivalent radiant exposure from a low irradiance LED and QTH light-curing units. *Am J Dent*. 2006;19(1):31-6.

Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent*. 1993;6(2):91-5.

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

Rueggeberg FA. Contemporary issues in photocuring. Compendium of continuing Education in Dentistry. 1999;Suppl.25:S4-S15.

Rueggeberg FA. From vulcanite to vinyl, a history of resins in restorative dentistry. J Prosthet Dent. 2002;87(4):364-79.

Rüttermann S, Servos A, Raab WH, Janda R. In vitro effect of light-emitting diode light polymerization on the color stability of three resin-based restorative materials. Acta Odontol Scand. 2008;66(1):43-9.

Ruyter IE. Does light curing of composites have adverse effects? Tandlaegebladet 1985;89(16):600-2.

Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. Dent Mater. 1987;3(5):246-51.

Ruyter IE, Oysaed H. Composites for use in posterior teeth: composition and conversion. J Biomed Mater Res. 1987;21(1):11-23.

Ruyter IE, Svendsen SA. Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. Acta Odontol Scand. 1978;36(2):75-82.

Sakaguchi RL. A review of the curing mechanics of composites and their significance in dental applications. Compend Contin Educ Dent Suppl. 1999;(25):S16-23; quiz S73.

Sakaguchi RL, Peters MCRB, Nelson SR, Douglas WH, Poort HW. Effects of polymerization contraction in composite restorations. J Dent. 1992;20:178-82.

Sakaguchi RL, Sasik CT, Bunezak MA, Douglas WH. Strain gauge method for measuring polymerization shrinkage of composite restoratives. J Dent 1991;19(5):312-6.

Sideridou ID, Karabela MM, Vouvoudi ECh. Physical properties of current dental nanohybrid and nanofill light-cured resin composites. Dent Mater. 2011;27(6):598-607.

Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. Biomaterials. 2002;23(8):1819-29.

Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. Biomaterials. 2003;24(4):655-65.

Silva EM, Almeida GS, Poskus LT, Guimarães JG. Relationship between the degree of conversion, solubility and salivary sorption of a hybrid and a nanofilled resin composite. *J Appl Oral Sci* 2008;16(2):161-6.

Soh MS, Yap AU. Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures. *J Dent*. 2004;32(4):321-6.

Stansbury JW, Dickens SH. Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dent Mater*. 2001;17(1):71-9.

Stober T, Gilde H, Lenz P. Color stability of highly filled composite resin materials for facings. *Dent Mater*. 2001;17(1):87-94.

Suh BI. Controlling and understanding the polymerization shrinkage-induced stresses in light-cured composites. *Compend Contin Educ Dent Suppl* 1999;(25):S34-41.

Taira M, Urabe H, Hirose T, Wakasa K, Yamaki M. Analysis of photo-initiators in visible-light-cured dental composite resins. *J Dent Res*. 1988;67(1):24-8.

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

Terry DA, Leinfelder KF. Managing stress with composite resin, Part 1: The restorative-tooth interface. *Dent Today*. 2006;25(12):98;100-4; quiz 104.

Topcu FT, Sahinkesen G, Yamanel K, Erdemir U, Oktay EA, Ersahan S. Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites. *Eur J Dent*. 2009;3(1):50-6.

Uhl A, Mills RW, Jandt KD. Polymerization and light-induced heat of dental composites cured with LED and halogen technology. *Biomaterials*. 2003;24(10):1809-20.

Um CM, Ruyter IE. Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int*. 1991;22(5):377-86.

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

Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Distribution of transient properties during polymerization of a light-initiated restorative composite. *Dent Mater*. 2004;20(6):543-53.

Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Do dental composites always shrink toward the light? *J Dent Res*. 1998;77(6):1435-45.

Yap AU, Seneviratne C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Oper Dent*. 2001;26(5):460-6.

Yazici AR, Celik C, Dayangaç B, Ozgünaltay G. The effect of curing units and staining solutions on the color stability of resin composites. *Oper Dent* 2007;32(6):616-22.

Watts DC, Cash AJ. Determination of polymerization shrinkage kinetics in visible-light-cured materials: methods development. *Dent Mater*. 1991;7(4):281-7.

Watts DC, Hindi A. Intrinsic 'soft-start' polymerisation shrinkage-kinetics in an acrylate-based resin-composite. *Dent Mater*. 1999;15(1):39-45.

Apêndices

Apêndice 1 – Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C1.

GRUPO: C1 FILTEK™ Z250 - 300MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM ³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	13,90	1,16
CP2	12,00	12,86	1,07
CP3	12,00	13,38	1,11
CP4	12,00	12,86	1,07
CP5	12,00	13,03	1,09
CP6	12,00	13,03	1,09
CP7	12,00	14,07	1,17
CP8	12,00	14,07	1,17
CP9	12,00	13,90	1,16
CP10	12,00	14,07	1,17
MÉDIA	12,00	13,52	1,126
DESVIO PADRÃO	0,000	0,5358	0,04465
MÍNIMO	12,00	12,86	1,071
MÁXIMO	12,00	14,07	1,173

Apêndice 2- Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C2.

GRUPO: C2 FILTEK™ Z250 - 600MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM ³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	17,20	1,43
CP2	12,00	19,63	1,64
CP3	12,00	19,46	1,62
CP4	12,00	17,89	1,49
CP5	12,00	17,89	1,49
CP6	12,00	18,07	1,51
CP7	12,00	16,50	1,38
CP8	12,00	16,85	1,40
CP9	12,00	17,55	1,46
CP10	12,00	16,33	1,36
MÉDIA	12,00	17,74	1,478
DESVIO PADRÃO	0,00	1,121	0,09344
MÍNIMO	12,00	16,33	1,361
MÁXIMO	12,00	19,63	1,636

Apêndice 3 - Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C3.

GRUPO: C3 FILTEK™ Z250 - 1000MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	18,76	1,56
CP2	12,00	19,11	1,59
CP3	12,00	18,94	1,58
CP4	12,00	20,33	1,69
CP5	12,00	17,20	1,43
CP6	12,00	19,81	1,65
CP7	12,00	20,67	1,72
CP8	12,00	19,46	1,62
CP9	12,00	22,41	1,87
CP10	12,00	22,06	1,84
MÉDIA	12,00	19,88	1,656
DESVIO PADRÃO	0,00	1,567	0,1306
MÍNIMO	12,00	17,20	1,433
MÁXIMO	12,00	22,41	1,868

Apêndice 4 - Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C4.

GRUPO: C4 FILTEK™ Z250 - 1550MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM ³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	27,62	2,30
CP2	12,00	29,39	2,45
CP3	12,00	26,58	2,22
CP4	12,00	25,02	2,08
CP5	12,00	22,59	1,88
CP6	12,00	23,45	1,95
CP7	12,00	26,41	2,20
CP8	12,00	24,15	2,01
CP9	12,00	23,98	2,00
CP10	12,00	23,63	1,97
MÉDIA	12,00	25,28	2,107
DESVIO PADRÃO	0,00	2,147	0,1789
MÍNIMO	12,00	22,59	1,882
MÁXIMO	12,00	29,36	2,447

Apêndice 5 - Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C5.

GRUPO: C5 FILTEK™ Z350XT - 300MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM ³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	11,99	1,00
CP2	12,00	13,20	1,10
CP3	12,00	11,47	0,96
CP4	12,00	11,81	0,98
CP5	12,00	11,29	0,94
CP6	12,00	8,17	0,68
CP7	12,00	7,82	0,65
CP8	12,00	7,82	0,65
CP9	12,00	11,12	0,93
CP10	12,00	13,20	1,10
MÉDIA	12,00	10,79	0,8991
DESVIO PADRÃO	0,00	2,095	0,1746
MÍNIMO	12,00	7,818	0,6515
MÁXIMO	12,00	13,20	1,100

Apêndice 6 - Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C6.

GRUPO: C6 FILTEK™ Z350XT - 600MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM ³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	19,28	1,61
CP2	12,00	16,68	1,39
CP3	12,00	18,76	1,56
CP4	12,00	19,28	1,61
CP5	12,00	19,28	1,61
CP6	12,00	18,59	1,55
CP7	12,00	19,28	1,61
CP8	12,00	18,07	1,51
CP9	12,00	17,89	1,49
CP10	12,00	14,94	1,25
MÉDIA	12,00	18,21	1,517
DESVIO PADRÃO	0,00	1,423	0,1186
MÍNIMO	12,00	14,94	1,245
MÁXIMO	12,00	19,28	1,607

Apêndice 7 - Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C7.

GRUPO: C7 FILTEK™ Z350XT - 1000MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM ³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	26,23	2,19
CP2	12,00	27,45	2,29
CP3	12,00	25,19	2,10
CP4	12,00	28,67	2,39
CP5	12,00	23,80	1,98
CP6	12,00	24,50	2,04
CP7	12,00	28,84	2,40
CP8	12,00	22,59	1,88
CP9	12,00	27,97	2,33
CP10	12,00	28,49	2,37
MÉDIA	12,00	26,37	2,198
DESVIO PADRÃO	0,00	2,247	0,1873
MÍNIMO	12,00	22,59	1,882
MÁXIMO	12,00	28,84	2,403

Apêndice 8 - Valores das forças máximas de contração (N) e gráfico correspondente às curvas geradas durante a contração de polimerização dos corpos-de-prova do grupo C8.

GRUPO: C8 FILTEK™ Z350XT - 1550MW/cm²

CORPO DE PROVA	VOLUME (MM ³)	FORÇA MÁXIMA (N)	CONTRAÇÃO (MPA)
CP 1	12,00	33,53	2,79
CP2	12,00	36,48	3,04
CP3	12,00	33,18	2,77
CP4	12,00	34,57	2,88
CP5	12,00	34,75	2,90
CP6	12,00	31,79	2,65
CP7	12,00	38,74	3,23
CP8	12,00	32,14	2,68
CP9	12,00	34,57	2,88
CP10	12,00	30,06	2,50
MÉDIA	12,00	33,98	2,832
DESVIO PADRÃO	0,00	2,464	0,2053
MÍNIMO	12,00	30,06	2,505
MÁXIMO	12,00	38,76	3,229