UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

NÁDIA DA ROCHA SVIZERO D'ALPINO

**Influência da distância de fotoativação na microdureza, sorção, solubilidade
e estabilidade de cor de uma resina composta microhíbrida**

BAURU

2009

NÁDIA DA ROCHA SVIZERO D'ALPINO

**Influência da distância de fotoativação na microdureza, sorção, solubilidade
e estabilidade de cor de uma resina composta microhíbrida**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo para obtenção do título de doutor em Odontologia.

Área de concentração: Dentística
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Atta

BAURU

2009

D'Alpino, Nádia da Rocha Svizero
D169i Influência da distância de fotoativação na microdureza,
sorção, solubilidade e estabilidade de cor de uma resina
composta microhíbrida / Nádia da Rocha Svizero
D'Alpino. -- Bauru, 2009.
149p. : il.; 30 cm

Tese. (Doutorado) -- Faculdade de Odontologia de
Bauru. Universidade de São Paulo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Atta

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

Assinatura:

Data: ____/____/____

NÁDIA DA ROCHA SVIZERO D'ALPINO

Dados Curriculares

13 de setembro de 1974	Nascimento
São Paulo - S.P	
1992 - 1995	Curso de Odontologia – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – S.P
1996 - 1998	Curso de Especialização em Dentística no Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais - Bauru
1997 - 2005	Professora assistente das Disciplinas de Dentística, Anatomia Dentária e Materiais Dentários da Universidade do Sagrado Coração - Bauru
2001 - 2003	Curso de Pós-Graduação em Dentística, em nível de Mestrado na Faculdade de Odontologia de Bauru - Universidade de São Paulo
2005 - 2009	Curso de Pós-Graduação em Dentística, em nível de Doutorado na Faculdade de Odontologia de Bauru - Universidade de São Paulo
2006 - 2009	Cirurgiã-dentista do setor de Dentística Restauradora do Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais - Bauru

Dedicatória

Dedicatória

A **Deus**, por iluminar meu caminho em todas as decisões e momentos da minha vida. Obrigada por me proporcionar tantos momentos de felicidade e me fortalecer diante das dificuldades, com as quais cresci e amadureci. Agradeço pelo nascimento do nosso filho tão querido e esperado durante este curso, o qual me encheu de alegria e força interior. Agradeço, em especial, pela graça que recebi para desenvolver e finalizar esta tese; pelas experiências vividas durante este curso e pelo crescimento científico e pessoal adquiridos. Sinto sua presença sempre muito perto de mim!!!

Ao meu filhinho **Thales**, luz da nossa casa e das nossas vidas. Este anjinho enviado por Deus que proporciona tantas alegrias e transforma qualquer momento em felicidade... Agradeço pelo seu sorriso, olhar meigo, doçura e energia contagiante, as quais me fortalecem e renovam constantemente. Ser mãe é uma dádiva de Deus...

Ao meu querido marido **Paulo**, por sempre estar ao meu lado dando-me tanto amor e carinho, principalmente nos momentos de dificuldades. Por não medir esforços para me ajudar a concluir este trabalho, pela paciência, cumplicidade e dedicação constantes. Obrigada por me fortalecer diante das minhas fraquezas e por ser um verdadeiro exemplo de marido, pai, companheiro e de pessoa lutadora e dedicada. Não posso me esquecer de tantas experiências lindas vividas ao seu lado durante esses anos que juntos estamos, as quais me renovam e fazem te amar cada dia mais. Enfim, agradeço pelos momentos compartilhados, por crescermos e amadurecermos juntos e pela conclusão deste trabalho.

Agradecimientos

Agradecimentos Especiais à Minha Família

Aos meus pais **Armando e Nadir**, pelo amor incondicional, pelo incentivo e pelas orações constantes. Agradeço por cuidarem com tanto amor e carinho da nossa jóia mais rara e preciosa, nosso filhinho Thales; afinal a realização desse trabalho não seria possível sem a dedicação de vocês. As palavras e gestos de carinho com que sempre me acolheram foram essenciais para que eu seguisse minha trajetória com êxito. Vocês são meus exemplos de humildade, honestidade, fortaleza, respeito, esperança, admiração, amor e dedicação, qualidades com as quais convivo e me encorajam a ser uma pessoa melhor a cada dia. Minha mais profunda gratidão. Amo vocês!

Ao meu querido irmão **Vitor**, pela amizade, carinho, apoio e incentivo em todas as situações; por compartilharmos juntos momentos tão especiais e particulares, os quais nos aproximaram e nos fizeram crescer juntos. Muito obrigada por toda preocupação e pela dedicação constante para que tudo desse certo.

À minha sogra **Neusa**, pela força interior que transmite e pela compreensão nos momentos em que estive mais distante para a finalização desse trabalho. Pelo apoio e incentivo constantes. Meu profundo respeito e admiração!

Aos meus cunhados **Vera Helena, Carlos Alberto, Sani, Paulo Sérgio e Renata** pelo incentivo e preocupação durante a realização desse trabalho; pelo convívio desses anos e pelos momentos de alegria que juntos vivemos.

Aos meus sobrinhos **Lucas, Vitor, Isabela e Matheus**, pela alegria que contagia nossos finais de semana; meus exemplos de doçura, ingenuidade e amor.

A todos vocês o meu amor, carinho e minha gratidão!!!!

Agradecimentos Especiais aos Professores

À minha orientadora, **Prof^a Dr^a. Maria Teresa Atta**, pelo incentivo quanto à realização deste trabalho, pela confiança e liberdade as quais permitiram que eu desenvolvesse e crescesse cientificamente. Obrigada pelos momentos e experiências que partilhamos, incentivando-me a seguir em frente rumo ao objetivo traçado. Agradeço ainda, por acreditar em meu trabalho e pelo apoio durante o decorrer do Doutorado. Meu carinho, amizade e admiração!!

À **Prof^a. Dr^a. Linda Wang**, por me acolher em um momento tão difícil, pelo incentivo, dedicação e colaboração na realização desse trabalho. Sua amizade, ajuda e conhecimento científico foram essenciais para o desenvolvimento desse trabalho. Muito obrigada!!

Ao **Prof. Dr. Ricardo Marins de Carvalho**, pela amizade, pela oportunidade de aprendizado, por acreditar e confiar na minha capacidade e por me incentivar a crescer cientificamente.

Ao **Prof. Dr. José Carlos Pereira**, pelo carinho com que sempre me recebeu e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos **Profs. Dr. David H. Pashley e Frederick Rueggeberg**, pelo acolhimento e pelo meu crescimento científico e pessoal; por adquirir tantos conhecimentos e pela oportunidade de conviver com pessoas tão humildes e generosas. Minha eterna gratidão!

Meus Agradecimentos

Aos demais professores do Departamento de Dentística Restauradora da Faculdade de Odontologia de Bauru: **José Mondelli, Rafael Lia Mondelli, Eduardo Batista Franco, Carlos Eduardo Francischone, Áquira Ishikiriama, Maria Fidela de Lima Navarro, Paulo Afonso Silveira Francisconi**, pela dedicação ao ensino e estímulo ao nosso aprendizado.

À **Prof^a. Dr^a. Regina Guenka Palma-Dibb**, pelo empréstimo do equipamento de análise da alteração de cor, pela confiança e pelos conhecimentos científicos transmitidos.

Ao **Prof. Dr. Carlos Ferreira dos Santos**, pela colaboração e incentivo.

Ao **Prof. José Roberto Lauris**, pela orientação da análise estatística.

À **Roberta Alonso**, pela preocupação, disponibilidade e ajuda durante a conclusão deste trabalho. Muito obrigada!!!

Ao **Marcelo Corrêa Alves**, pela orientação, paciência e esclarecimentos quanto à análise estatística deste trabalho.

À **Tânia** (histologia), pela grande contribuição quanto à interpretação dos resultados.

À minha querida amiga **Terezinha Barata**, pelo carinho, amizade e incentivo para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos **meus amigos** Fer, Jorge, Andressa, Fábio, Aracely, Alcir, Cris, Renato, Márcia, Célio, Betiza, Fabiano, Renata, Fernando, Maria, José Carlos, Cris, Rodrigo, Mariângela, Bruno e ao padre Marcos, pelas orações e pelos momentos de partilha e amizade.

*Aos meus colegas de trabalho **Lilian, Aparício e Roseli**, pela compreensão, carinho e por compartilharem comigo esta caminhada de crescimento profissional e pessoal.*

*Aos meus alunos **Cássia, Cláudia, Collis, Damaris, Luciana, Maria Angélica, Naiara e Marcos**, pelos momentos de descontração, amizade e pelo incentivo e compreensão durante a realização desse trabalho.*

*Ao amigo **Flávio**, pela amizade e pelo incentivo constante em todos os momentos.*

*Aos colegas de Doutorado **Adilson, Odirlei, Aninha, Renato, Maria Cecília, Rosana e Ticiane**, pelos momentos de convivência e pelas conquistas alcançadas.*

*Aos funcionários e amigos do CIP: **D. Neusa, Márcia, Marcelo** e ao **Prof. Vinícius**, pelo carinho com que me receberam, pela amizade e por proporcionarem sempre um ótimo ambiente para o desenvolvimento das pesquisas.*

*À **Edna**, pelas orações e pelo incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis.*

*Ao **Renato**, que com tanto capricho confeccionou a matriz utilizada nesse trabalho.*

*Aos **funcionários da reprografia** pela atenção e disponibilidade.*

*Aos funcionários do Departamento de Dentística da FOB, especialmente **Rita e Ângela**, agradeço pelo carinho com que me acolheram, pela paciência e auxílio em todos os momentos que precisei. Vocês são muito especiais!!!*

*Aos **funcionários da Biblioteca**, pela prontidão no atendimento e pelo carinho com que realizam seus trabalhos em benefício aos alunos.*

A todos os amigos e familiares que, direta ou indiretamente, colaboraram, torceram e acreditaram em mim.

Muito obrigada!!

Resumo

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da distância de fotoativação na microdureza Knoop, na sorção, na solubilidade e na estabilidade de cor de uma resina composta microhíbrida (Filtek Z250 – 3M ESPE). Os corpos-de-prova foram confeccionados em uma matriz de teflon (6,0mm x 2,5mm espessura) e fotoativados por 20s variando-se a distância entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície da resina composta: G1- 0mm (controle), G2- 5mm, G3- 10mm, G4- 15mm. Em seguida, os espécimes foram armazenados secos em recipientes escuros por 24h. O teste de microdureza Knoop (100g por 15s) foi realizado nas superfícies topo e base dos espécimes após 24h, 6 meses e 1 ano. Para o teste de sorção e solubilidade, os espécimes foram colocados no dessecador para obtenção da massa inicial, armazenados em água até uma massa constante e novamente submetidos ao processo de dessecamento até a obtenção de uma massa constante. Para o teste de estabilidade de cor, após a medida de cor inicial realizada com um espectrofotômetro, os espécimes foram diariamente submetidos a dois ciclos de 10 minutos de imersão no suco de uva, permanecendo o restante do tempo em água. Os espécimes do grupo controle ficaram imersos em água ao longo de todo o período experimental (28 dias). A cor foi mensurada semanalmente. Os dados de microdureza e estabilidade de cor foram submetidos aos testes estatísticos ANOVA a 3 critérios/ Tukey e os de sorção e solubilidade a ANOVA um critério/ Tukey ($\alpha=0,05$). Após 24h, o G4 apresentou valores significativamente menores de dureza comparados ao G1 na superfície topo, enquanto que na base, a dureza do G2, G3 e G4 foi estatisticamente menor que G1. Ambas as superfícies avaliadas mostraram redução nos valores de microdureza após 6 meses e 1 ano. G3 e G4 apresentaram

maior sorção de água e G4 maior solubilidade, comparado a G1. A estabilidade de cor do compósito foi influenciada pelo tempo, meio de imersão e pela distância de fotoativação. O suco de uva causou alteração estatisticamente significativa na cor do compósito (ΔE) em função do tempo de armazenamento e da distância de fotoativação (G4). Conclui-se que quanto maior a distância da fonte de luz, menores os valores de microdureza, maior a sorção e solubilidade e menor a estabilidade de cor do compósito avaliado.

Palavras-chave: resinas compostas, polimerização, dureza, absorção, solubilidade, cor.

Abstract

Influence of light curing tip distance on microhardness, water sorption, solubility and color stability of a microhybrid resin composite

The purpose of this in vitro study was to evaluate the influence of light curing tip distance on microhardness, sorption, solubility and color stability of a microhybrid resin composite (Filtek Z250-3M ESPE). Specimen discs (6mm x 2,5mm) were irradiated for 20s with a continuous output at 640mW/cm², according to different curing tip distances: G1-0mm (control), G2-5mm, G3-10mm and G4-15mm. Specimens were stored dry in a lightproof container for 24h. Knoop hardness measurements were obtained on the top and bottom surfaces of the samples (100g, 15s) after 24h, 6 and 12 months. To evaluate sorption and solubility, specimens were desiccated to be weighed and then stored in distilled water until a constant mass was obtained. The reconditioning in the desiccators was also done until a constant mass. To evaluate the color stability of the resin composite, the first color measurements were made and then specimens were immersed in a grape juice twice a day for 10 minutes, during 28 days. Control groups were immersed in distilled water for the same period of time. Color measurements were made weekly using a spectrophotometer. Data from microhardness/ color stability and from water sorption/ solubility were submitted to three-way ANOVA/Tukey and one-way ANOVA /Tukey tests, respectively ($p < 0,05$). For top and bottom surfaces, there were statistical differences among the curing tip distances after 24h. Although, the microhardness values were lower for both surfaces after 6 and 12 months. G3 and G4 showed significant higher water sorption and G4 higher solubility when compared to G1. Grape juice showed significant color change of the resin composite as a function of time and curing tip distance (G4). It may be concluded that the distance between light

curing tip and resin composite surface decreases microhardness and color stability, and increases sorption and solubility of the evaluated resin composite.

Keywords: Composite resins, polymerization, hardness, absorption, solubility, color

Lista de Ilustrações

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Resina composta Filtek Z-250	73
Figura 2 -	Desenho esquemático do modelo da matriz de teflon utilizada para confecção dos corpos-de-prova: A- matriz de teflon, B- anel metálico, C- matriz de teflon confeccionada	74
Figura 3 -	Desenho esquemático do modo de confecção dos corpos-de-prova: placa de vidro (A), tira de poliéster (B), inserção do compósito (C), utilização de outra tira de poliéster (D), lâmina de vidro (E).....	74
Figura 4 -	Aparelho Astralis 3 (Ivoclar – Vivadent)	75
Figura 5 -	Desenho esquemático das distâncias utilizadas para a fotoativação da resina composta: A- 0 mm, B- 5 mm, C- 10 mm, D- 15 mm.....	75
Figura 6 -	Aparelho fotoativador acoplado ao suporte	76
Figura 7 -	Corpos-de-prova confeccionados	76
Figura 8 -	Microdurômetro utilizado para a avaliação da dureza Knoop.....	77
Figura 9 -	Balança analítica de alta precisão utilizada para a pesagem dos espécimes	79
Figura 10 -	Armazenamento dos espécimes em água	80
Figura 11 -	Armazenamento dos espécimes em dessecador contendo sílica gel	80
Figura 12 -	A: Espectrofotômetro utilizado para a mensuração da cor dos espécimes, B: base utilizada para fixação do espécime durante a leitura	83
Figura 13 -	A- Desenho esquemático das perfurações realizadas no EVA branco e fixação dos espécimes; B- vista lateral dos espécimes com a superfície irradiada em contato com a solução	84

Figura 14	Representação gráfica das médias de microdureza Knoop da superfície topo nos diferentes períodos de avaliação	88
Figura 15	Variações dos resultados dos diferentes grupos experimentais na superfície topo levando-se em consideração o fator tempo.....	89
Figura 16	Representação gráfica das médias de microdureza Knoop da superfície base nos diferentes períodos de avaliação	90
Figura 17	Variações dos resultados dos diferentes grupos experimentais na superfície base levando-se em consideração o fator tempo.....	91
Figura 18	Gráfico representativo da porcentagem de variação da massa dos grupos experimentais em função do tempo de armazenamento	94
Figura 19	Representação gráfica dos valores médios de ΔE da interação dos fatores distância de fotoativação x meio de imersão	96
Figura 20	Representação gráfica dos valores médios de ΔE da interação dos fatores tempo de imersão x meio de imersão	97

Lista de Tabelas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição da resina composta Filtek Z-250	73
Tabela 2 -	Médias e desvios padrão de microdureza Knoop da superfície topo nos diferentes períodos de avaliação	87
Tabela 3 -	Médias e desvios padrão de microdureza Knoop da superfície base nos diferentes períodos de avaliação	90
Tabela 4 -	Comparação entre as médias de dureza Knoop (KHN) das superfícies topo e base para cada distância de fotoativação e período de avaliação testados	92
Tabela 5 -	Médias e desvios padrão de sorção de água e solubilidade ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$) dos grupos experimentais	93
Tabela 6 -	Médias de ΔE^* e desvios padrão dos grupos experimentais em função do meio de imersão	95
Tabela 7 -	Médias de ΔE^* e desvios padrão dos grupos experimentais em função do tempo e do meio de imersão	97

Lista de Abreviaturas e Siglas

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

mm	milímetro
cm ²	centímetro quadrado
mW/cm ²	miliWatt por centímetro quadrado
°C	grau Celsius
%	porcentagem
µm	micrômetro
h	hora
s	segundos
nº	número
KHN	Knoop Hardness Number (dureza Knoop)
ISO	International Standard Organization
p	nível de significância
pH	potencial hidrogeniônico

Sumário

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	33
2.1	MICRODUREZA	36
2.2	SORÇÃO e SOLUBILIDADE	45
2.3	ESTABILIDADE DE COR	56
3	PROPOSIÇÃO	67
4	MATERIAL E MÉTODOS	71
4.1	MICRODUREZA	73
4.1.1	Delineamento experimental	73
4.1.2	Confecção dos corpos-de-prova	73
4.1.3	Avaliação da Microdureza	76
4.1.4	Análise estatística dos dados de microdureza	77
4.2	SORÇÃO DE ÁGUA e SOLUBILIDADE	78
4.2.1	Delineamento experimental	78
4.2.2	Confecção dos corpos-de-prova	78
4.2.3	Teste de sorção de água e solubilidade	78
4.2.4	Análise estatística dos dados de sorção e solubilidade	80
4.3	ESTABILIDADE DE COR	81
4.3.1	Delineamento experimental	81
4.3.2	Confecção dos corpos-de-prova	81
4.3.3	Análise da cor	82

4.3.4	Análise estatística dos dados de alteração de cor	84
5	RESULTADOS	85
5.1	MICRODUREZA	87
5.2	SORÇÃO DE ÁGUA e SOLUBILIDADE	93
5.3	ESTABILIDADE DE COR	95
6	DISCUSSÃO	99
7	CONCLUSÕES	131
	REFERÊNCIAS	135

1 Introdução

1 INTRODUÇÃO

As resinas compostas fotopolimerizáveis representam a grande revolução no desenvolvimento de materiais odontológicos dos últimos anos, constituindo-se materiais de aplicação universal e versátil. No entanto, o sucesso clínico das restaurações de resina composta está diretamente relacionado ao seu grau de polimerização (THOMÉ et al., 2007).

O processo de polimerização inicia-se através da absorção da luz visível por uma molécula fotoiniciadora que, na maior parte dos compósitos, é a canforoquinona. Quando esta é exposta à energia oferecida pela fonte de luz, atinge um estado de excitação e reage com uma amina terciária para gerar radicais livres, os quais são responsáveis pelo início da reação de polimerização (RUEGGEBERG, 1999). A porcentagem de duplas ligações de carbono que são convertidas em ligações simples para formar a cadeia polimérica, durante a reação de polimerização, é denominada grau de conversão (FERRACANE, 1985). Quanto maior o grau de conversão, melhores são as propriedades físico-mecânicas do material (GUIMARÃES et al., 2008; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005; HAMMESFAHR et al., 2002; YOON et al. 2002; NEVES et al., 2002; FERRACANE; GREENER, 1986). Com isso, a qualidade de polimerização dos compósitos resinosos passou a ser uma das grandes preocupações dos pesquisadores, tornando-se essencial para o bom desempenho clínico e longevidade das restaurações mediante os desafios oferecidos pelo ambiente bucal.

Uma das formas indiretas de se analisar o grau de polimerização dos compósitos é pelo teste de microdureza, o qual avalia a dureza do material em profundidades específicas (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a; CICCONE-

NOGUEIRA et al., 2007; ABATE et al., 2001; AGUIAR et al., 2005; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; HUBBEZOGLU et al., 2007; LINDBERG et al., 2005; ARAÚJO et al., 2008). A profundidade de polimerização tem sido freqüentemente estudada e depende de fatores relacionados às características dos materiais e à fonte de luz, tais como: cor, opacidade, carga, tamanho das partículas inorgânicas, densidade de potência, espectro de irradiância, tempo de irradiação e distância existente entre a ponta do aparelho e a superfície do compósito (ABATE et al., 2001; AGUIAR et al., 2005; VANDEWALLE et al., 2008; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a; LINDBERG et al., 2005; CORCIOLANI et al., 2008; MOON et al., 2004; THOMÉ et al., 2007; PIRES et al., 1993).

A distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta tem mostrado interferir diretamente na intensidade de luz que alcança a superfície do material e, conseqüentemente na profundidade de polimerização (RODE et al., 2007). Segundo a literatura, a intensidade de energia luminosa diminui quando a ponta do aparelho é distanciada da resina composta (PIRES et al., 1993), não ocorrendo uma polimerização uniforme do topo em direção à base da restauração (RUEGGERBERG, 1999). À medida que se distancia da superfície irradiada, a polimerização dos compósitos torna-se menos efetiva, pois a dispersão da luz tende a minimizar a conversão dos monômeros em polímeros afetando, conseqüentemente, a qualidade do polímero formado (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a).

Idealmente, a ponta do aparelho fotoativador deve ser posicionada o mais próximo possível da superfície do material, no entanto isto é difícil de ser controlado clinicamente devido a alguns fatores que não permitem que a ponta do aparelho se aproxime da resina composta durante a fotoativação, como ponta de cúspides,

posição do dente no arco e, principalmente, restaurações proximais de preparos Classe II (RODE et al., 2007). Tem sido mostrado que a distância da ponta de cúspide até a parede gengival nesses tipos de preparo pode exceder 7 mm em um molar (PRICE et al., 2000) e, em tais situações, o material pode encontrar-se inadequadamente polimerizado devido à distância existente entre a ponta da fonte de luz e o primeiro incremento de resina composta (AGUIAR et al., 2005; AGUIAR et al., 2008).

A inadequada polimerização do compósito pode causar o aumento da sorção de água e da solubilidade devido à reduzida conversão dos monômeros em polímeros (PEARSON; LONGMAN, 1989; GUIMARÃES et al., 2008). A presença de ligações duplas remanescentes pode tornar o material mais suscetível à sorção e ao efeito plastificador exercido pela água, levando à lixiviação dos monômeros não reagidos e à degradação do material a curto ou longo prazo (TOLEDANO et al., 2003; FERRACANE, 2006). Conseqüentemente, poderá ocorrer o comprometimento das propriedades mecânicas do material (FERRACANE, 2006), como dureza (MEDEIROS; NASCIMENTO, 2002), resistência flexural (CALAIS; SÖDERHOLM 1988), módulo de elasticidade (ITO et al., 2005; KALACHANDRA; WILSON, 1992; PASTILA et al., 2007), resistência à tensão (SÖDERHOLM; ROBERTS 1990), resistência ao desgaste (SCARRETT et al., 1991) e tenacidade de fratura (FERRACANE; BERGE, 1995).

As propriedades das resinas compostas também podem ser influenciadas pelo grau de ligações cruzadas da rede polimérica (SIDERIDOU et al., 2003). Polímeros com baixa densidade de ligações cruzadas e com maior formação de cadeias lineares são mais suscetíveis ao intumescimento e à plastificação pelo solvente (SIDERIDOU et al., 2003; SOH; YAP, 2004). Quando esta situação ocorre,

os monômeros residuais são mais facilmente lixiviados, aumentando o risco de citotoxicidade, sensibilidade pós-operatória e reação alérgica (AGUIAR et al., 2005; SIDERIDOU et al., 2003; RUYTER, 1995; ÖRTENGREN et al., 2001a). Assim, quanto menor o grau de conversão ou a densidade de ligações cruzadas, maior a susceptibilidade do material aos desafios clínicos.

A sorção de fluidos pelo compósito pode ainda tornar o material mais suscetível à instabilidade de cor (FERRACANE, 1998), uma vez que os corantes presentes nestes fluidos são absorvidos, caracterizando o manchamento extrínseco (SCHULZE et al., 2003; UM; RUYTER, 1991). A descoloração extrínseca também pode ser resultado de pigmentos do cigarro, má higiene bucal mas, sobretudo, da absorção de corantes provenientes de diferentes alimentos e bebidas (YAZICI et al., 2007; TOPCU et al., 2009; GÜLER et al., 2009; MAROTTI et al., 2006; CARVALHO et al., 2003; DIETSCHI et al., 1994; SAMRA et al., 2008; UM; RUYTER, 1991).

Fatores intrínsecos, como a alteração da matriz resinosa (UM; RUYTER, 1991; REIS et al., 2003) e a polimerização incompleta do material (JANDA et al., 2004; JANDA et al., 2005; JANDA et al., 2007b; RÜTTERMANN et al., 2008), também apresentam influência considerável na estabilidade de cor da resina composta. Imazato et al. (1995) mostraram que existe correlação entre grau de conversão e descoloração dos compósitos, sendo que quanto menor o grau de conversão, maior a descoloração do material (de GEE et al., 1984). Um compósito inadequadamente polimerizado pode resultar em maior sorção de água e solubilidade e, conseqüentemente, em baixa estabilidade de cor (YAZICI et al., 2007; IMAZATO et al., 1995; DIETSCHI et al., 1994), devido à degradação da resina e à redução da sua resistência ao manchamento (SÖDERHOLM et al., 1984; YAZICI et al., 2007).

Como visto, a inadequada polimerização da resina composta pode comprometer suas propriedades físico-mecânicas (SOH; YAP, 2004; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005; MEDEIROS; NASCIMENTO, 2002; ITO et al., 2005; KALACHANDRA; WILSON, 1992). Diante disso, é importante ressaltar que a falta de atenção dos profissionais, bem como da auxiliar odontológica, durante a fotoativação dos compósitos pode ocasionar a obtenção de um material inadequadamente polimerizado pela diminuição da densidade de energia que chega ao mesmo.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar a microdureza, a sorção de água, a solubilidade e a estabilidade de cor de uma resina composta microhíbrida, variando-se a distância entre a fonte de luz e a superfície do compósito a ser fotoativado.

2 Revisão de Literatura

2 REVISÃO DE LITERATURA

As resinas compostas surgiram como resposta aos anseios à obtenção de um material que atendesse às exigências impostas pelo meio bucal em termos de características físicas e químicas e que proporcionasse o restabelecimento da forma, função e estética dos elementos dentários (RISSI; CABRAL, 2002).

Os compósitos foram inicialmente desenvolvidos por Bowen, em 1963, e são basicamente constituídos por uma matriz orgânica, carga inorgânica e por um agente silano de ligação, que conecta a partícula e a matriz (POLYDOROU et al., 2007). A matriz orgânica contém um ou mais monômeros de base, tais como o Bis-GMA (bisfenol A Glicidilmetacrilato) e/ ou UDMA (uretano dimetacrilato), diluente comonômero (EGDMA, DEGDMA, TEGDMA) e vários aditivos, como fotoiniciadores (ex: canforoquinona), co-iniciadores, inibidores de polimerização e fotoestabilizadores (POLYDOROU et al., 2007). As partículas de carga fazem parte da matriz polimérica e são importantes na determinação do desempenho mecânico, na viscosidade e no grau de conversão do compósito (RUYTER; OYSAED, 1987). No entanto, além do conhecimento de sua composição, a utilização das resinas compostas requer um profundo entendimento sobre a reação que ocorre durante a polimerização e os fatores que podem influenciar este processo.

A reação de polimerização dos compósitos acontece através do fotoiniciador presente na sua composição, sendo que o mais comumente utilizado nesses materiais é a canforoquinona. Quando esta é exposta à luz, em um comprimento de onda específico (450 a 500 nm), torna-se altamente energizada, em estado de excitação. Nesse momento, a canforoquinona reage com uma amina terciária (agente redutor) para formar um complexo que vai quebrar as duplas ligações C=C e

formar radicais livres, os quais buscarão estabelecer novas ligações, iniciando, assim, o processo de polimerização (RUEGGEBERG, 1999).

O grau de polimerização do compósito assume um papel importante nas propriedades físicas e mecânicas das resinas compostas, pois uma inadequada polimerização pode influenciar na dureza, na taxa de sorção de água, na solubilidade, na estabilidade de cor, dentre outras propriedades (PEARSON e LONGMAN 1989; IMAZATO et al., 1995; ARAVAMUDHAN et al., 2006; CICCONE-NOGUEIRA et al., 2007). Assim, é de suma importância o estudo das propriedades físico-mecânicas das resinas compostas, as quais podem ser analisadas e estudadas por diferentes meios.

2.1 Microdureza

Desde a sua introdução na década de 70, as resinas compostas vêm sendo largamente utilizadas, principalmente por apresentarem adequadas propriedades mecânicas, qualidade estética e capacidade de adesão às estruturas dentárias. No entanto, com a constante utilização das resinas compostas fotopolimerizáveis, a qualidade de polimerização tornou-se uma das grandes preocupações dos pesquisadores.

Novas tecnologias têm sido desenvolvidas com o intuito de se conseguir energia luminosa necessária para que a maior quantidade possível de monômeros seja convertida em polímeros durante a reação de polimerização (YOON et al., 2002), resultando na melhora das propriedades físico-mecânicas do material e no sucesso clínico a longo prazo (HAMMESFAHR et al., 2002; NEVES et al., 2002; FERRACANE e GREENER, 1986). Com isso, as propriedades dos compósitos são estudadas com frequência, bem como os fatores que podem influenciar seu grau de polimerização.

A efetividade de polimerização pode ser observada avaliando-se as propriedades mecânicas e físicas da resina composta polimerizada e, dentre as propriedades estudadas, a profundidade de polimerização tem-se mostrado relevante (ARAÚJO et al., 2008; LINDBERG et al., 2005; MOORE et al., 2008). A polimerização dos compósitos pode ser avaliada direta ou indiretamente. A análise do grau de conversão é considerada a técnica direta mais confiável, porém é um método caro, complexo e que demanda tempo (RODE et al., 2007; HUBBEZOGLU et al., 2007; CICCONE-NOGUEIRA et al., 2007), podendo ser analisado por espectroscopia em infravermelho com transformação de Fourier (FTIR), espectroscopia Raman e espectrometria no ultravioleta visível (UV-Vis). Por outro lado, o teste de microdureza é um método indireto bastante utilizado devido à correlação existente entre dureza e grau de conversão (NEVES et al., 2002; RODE et al., 2007). A avaliação da dureza do material em profundidades específicas é um dos métodos “in vitro” mais utilizados para a análise da profundidade de polimerização (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a; CICCONE-NOGUEIRA et al., 2007; ABATE et al., 2001; AGUIAR et al., 2005; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; HANSEN; ASMUSSEN, 1997; HUBBEZOGLU et al., 2007; LINDBERG et al., 2005; ARAÚJO et al., 2008), no entanto, outros métodos indiretos existentes são o visual e o de raspagem (DAVIDSON; de GEE, 2000). Esses últimos são considerados métodos subjetivos e não oferecem uma imagem real do grau de conversão do material (DAVIDSON; de GEE, 2000). Os testes de dureza mais utilizados em Odontologia são os de macrodureza Brinell e Rockwell e os de microdureza Vickers e Knoop.

A profundidade de polimerização é afetada não somente por fatores relacionados à fonte de luz, mas também está relacionada às características dos

materiais (YEARN, 1985). Os fatores relacionados aos compósitos são a cor (ARAÚJO et al., 2008), opacidade, translucência, além da carga, distribuição e tamanho das partículas inorgânicas (SCHULZE et al., 2003; HUBBEZOGLU et al., 2007; THOMÉ et al., 2007), enquanto que os fatores relacionados à fonte de luz incluem a densidade de potência, espectro de irradiância, tempo de irradiação (LINDBERG et al. 2005; TATE et al., 1999, ARAÚJO et al., 2008) e distância existente entre a ponta do aparelho e a superfície do compósito (ABATE et al., 2001; AGUIAR et al., 2005; VANDEWALLE et al., 2008; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003; LINDBERG, et al., 2005; CORCIOLANI et al., 2008; MOON et al., 2004; THOMÉ et al., 2007; PIRES et al., 1993; SANTOS et al., 2000; RODE et al., 2007; CORRER SOBRINHO et al., 2000; LELOUP et al., 2002; ARAVAMUDHAN et al., 2006; PRICE et al., 2004; RISSI; CABRAL, 2002). A profundidade de polimerização ainda pode ser influenciada pela espessura do incremento de resina composta (AGUIAR et al., 2008; RODE et al., 2007; CORRER SOBRINHO et al., 2000; LELOUP et al., 2002; ARAVAMUDHAN et al., 2006; CORCIOLANI et al., 2008; PRICE et al., 2004; LINDBERG et al. 2005; SANTOS et al., 2000) e pela geometria da ponta utilizada para a transmissão da luz (CORCIOLANI et al., 2008; VANDEWALLE et al., 2008). Segundo Vandewalle et al. (2008), variações significantes de irradiação e distribuição da luz podem existir entre os aparelhos fotoativadores ou entre as pontas das fontes de luz existentes no mercado.

Como visto, muitos fatores podem afetar a quantidade de energia luminosa recebida no topo e na base da restauração de resina composta. Dentre esses fatores, a distância existente entre a ponta da fonte de luz e a superfície da resina composta interfere diretamente na intensidade de luz que atinge o compósito e, conseqüentemente, na profundidade de polimerização (na microdureza) (PIRES et

al., 1993; ARAVAMUDHAN et al. 2006; CORCIOLANI et al., 2008; THOMÉ et al., 2007; CORRER-SOBRINHO et al. 2000; RISSI; CABRAL, 2002; RODE et al., 2007; AGUIAR et al., 2008). A literatura tem mostrado que a intensidade de luz diminui à medida que a ponta do aparelho fotoativador é distanciada da superfície do compósito (PIRES et al., 1993; FELIX; PRICE, 2003; ARAVAMUDHAN et al., 2006; CORCIOLANI et al., 2008; THOMÉ et al., 2007; RISSI; CABRAL, 2002) e a quantidade de energia luminosa disponível para excitar o fotoiniciador diminui drasticamente do topo em direção à base da restauração (HANSEN; ASMUSSEN, 1993; RUEGGEBERG, 1999). Isto ocorre porque a resina composta tem a capacidade de dispersar a luz, pois quando esta passa através do compósito, sua intensidade é reduzida devido à absorção e espalhamento pelas partículas de carga e pela matriz resinosa (HUBBEZOGLU et al., 2007; RUEGGEBERG, 1999). Para Lindberg, Peutzfeldt e van Dijken (2005), a dispersão de luz parece ser o principal fator relacionado às alterações na profundidade de polimerização do material. A atenuação da energia luminosa na profundidade do compósito resulta em uma menor quantidade de moléculas de canforoquinona excitadas (fotoiniciador mais comumente utilizado), com diminuição drástica da probabilidade de colisão com a amina (RUEGGEBERG, 1999). A mobilidade das cadeias poliméricas torna-se progressivamente mais restrita, em consequência do aumento na viscosidade e redução no volume livre (NEVES et al., 2005). A rede polimérica torna-se suficientemente rígida, as cadeias ficam basicamente imóveis e a reação de propagação é limitada, podendo resultar em um reduzido grau de conversão (DAVIDSON; de GEE, 2000).

Vários estudos têm mostrado que no topo não há diferença significativa nos valores de dureza quando variadas as distâncias de fotoativação (AGUIAR et al.,

2005; PIRES et al., 1993; AGUIAR et al., 2008; ABATE et al., 2001), porém na base, a dureza mostra-se menor e a polimerização do material parece depender da distância da ponta da fonte de luz, pois quanto maior a distância, menor a profundidade de polimerização (ARAVAMUDHAN et al., 2006; CICCONE-NOGUEIRA et al., 2007; PIRES et al., 1993; LINDBERG et al. 2005; AGUIAR et al., 2008; THOMÉ et al., 2007; HANSEN; ASMUSSEN, 1997; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; ARAÚJO et al., 2008). Assim, a superfície topo depende menos da intensidade de luz que a base (AGUIAR et al., 2005; PIRES et al., 1993), pois a energia que alcança a superfície irradiada parece ser suficiente para que ocorra uma adequada polimerização do compósito (AGUIAR et al., 2008).

Sabendo que o grau de polimerização da resina composta pode ser avaliado pelo teste de microdureza e este está associado à intensidade de luz dos aparelhos fotoativadores (SANTOS et al., 2000), nota-se que há uma relação direta entre intensidade de luz e profundidade de polimerização em resinas compostas fotopolimerizáveis (RUEGGERBERG et al. 1994; PRICE et al. 2004; DUNNE; MILLAR, 2008). Segundo Dunne e Millar (2008), a profundidade de polimerização do compósito está diretamente relacionada à intensidade e duração da exposição à luz, porém inversamente relacionada à distância entre a fonte de luz e a superfície do material. O efeito dessa distância causa ainda controvérsias na literatura. Em estudos nos quais esse efeito foi avaliado pelo método indireto (microdureza), alguns autores encontraram que a distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta não interferiu nos valores de dureza (ABATE et al., 2001). Outros trabalhos mostraram que o aumento da distância diminui a intensidade de energia luminosa, a profundidade de polimerização e os valores de microdureza (CORRER-SOBRINHO et al., 2000; RODE et al., 2007; MOORE et al., 2008, THOMÉ et al.,

2007; PIRES et al., 1993; HANSEN; ASMUSSEN, 1997). Ciccone-Nogueira et al. (2007) observaram uma diminuição gradual da microdureza com o aumento da profundidade quando utilizados diferentes compósitos para dentes posteriores e essa queda mostrou-se mais acentuada em profundidades maiores que 2 mm. Rode, Kawano e Turbino (2007) avaliaram a influência da distância de fotoativação (0, 3, 6 e 9 mm) na profundidade de polimerização da resina composta Z-250, através do teste de microdureza e determinação do grau de conversão. Observaram que o aumento da distância da fonte de luz causou a diminuição nos valores de microdureza e no grau de conversão, quando utilizados diferentes aparelhos fotoativadores. Não foram observadas diferenças significantes nas distâncias de 0 mm e 3 mm, quando utilizados incrementos de até 2 mm de espessura; no entanto, distâncias de 6 mm e 9 mm mostraram menores valores de dureza em espessuras similares.

Alguns trabalhos mostraram que a velocidade de polimerização pode influenciar na estrutura do polímero. Asmussen e Peutzfeldt (2003a), avaliando a estrutura do polímero de um compósito em relação à distância da superfície irradiada, não encontraram diferenças significantes na dureza dos espécimes quando irradiados em distâncias de 0,5 mm a 3,5 mm, previamente à imersão em etanol. No entanto, o armazenamento dos espécimes em etanol causou o amolecimento pronunciado da resina composta quando distâncias de 3,0 mm e 3,5 mm foram utilizadas. Esses resultados foram explicados pelo menor grau de polimerização ocorrida quando maiores distâncias da superfície irradiada foram utilizadas, resultando em um polímero com reduzida densidade de ligações cruzadas.

A literatura também relata que quando a resina composta é fotoativada por uma fonte de luz, a densidade de potência é reduzida com o aumento da distância de fotoativação (NOMOTO et al., 1994). Pires et al. (1993) mostraram que a 12 mm de distância a intensidade de luz foi reduzida de 528 mW/cm² para 103 mW/cm². Felix e Price (2003) mostraram que a 6 mm de distância, a maioria das fontes de luz testadas perdeu cerca de 50% da intensidade de luz inicial, enquanto que a 10 mm alguns aparelhos perderam cerca de 80%.

Apesar da recomendação clínica ser a utilização de 1mm de distância entre a ponta do aparelho e a superfície do compósito a ser polimerizado (CORRER SOBRINHO et al., 2000; PIRES et al., 1993; THOMÉ et al., 2007), o posicionamento da fonte de luz em contato com a superfície do material nem sempre é uma situação praticável na clínica, uma vez que depende da progressão da lesão cariosa, do tamanho e da posição do preparo cavitário (AGUIAR et al., 2005). Clinicamente, essa distância é difícil de ser controlada devido a alguns fatores que não permitem que a ponta do aparelho se aproxime da superfície da resina composta durante a fotoativação, tais como: ponta de cúspides, posição do dente no arco, restaurações da parede gengival de preparos classe II (RODE et al., 2007; THOMÉ et al., 2007). Quando a distância é maior que 2 mm, a dispersão da luz aumenta, tornando difícil a obtenção de uma efetiva polimerização do material. Isso parece ocorrer com maior frequência em preparos Classe I e II extensos e profundos, devido à dispersão de energia luminosa que ocorre devido à distância entre a ponta da fonte de luz e o primeiro incremento de resina composta (THOMÉ et al., 2007; RODE et al., 2007). Nessas situações, a interface entre esse incremento e a estrutura dentária pode encontrar-se menos polimerizada e a exposição dessa interface ao meio bucal pode gerar descoloração marginal, fratura da restauração e solubilidade da resina e do

sistema adesivo, levando à infiltração e cárie secundária (AGUIAR et al., 2005; XU et al., 2006). Adicionalmente, se o compósito menos polimerizado entrar em contato com as paredes de fundo axial e pulpar, os monômeros remanescentes podem facilmente difundir-se para o interior da dentina e causar reação inflamatória na polpa devido à sua toxicidade, resultando em sensibilidade pós-operatória (AGUIAR et al., 2005). Dessa forma, cuidado especial deve ser tomado em situações clínicas onde as paredes pulpar, axial ou gengival encontram-se distantes da ponta do aparelho fotoativador (AGUIAR et al., 2005), pois se a resina composta não receber energia luminosa suficiente (suficiente número de fótons em um apropriado comprimento de onda), vários problemas poderão surgir, como reduzido grau de conversão, menor dureza, aumento da pigmentação, diminuição do módulo de elasticidade, aumento do desgaste, falhas nas ligações adesivas entre dente-restauração e aumento da citotoxicidade devido à liberação de monômeros residuais (RUEGGEBERG et al., 1994; THOMÉ et al., 2007; SIDERIDOU et al., 2003; IMAZATO et al., 1995; RATHBUN et al., 1991).

Outro fator que pode levar ao aumento da distância entre a ponta do aparelho e a superfície da resina composta é a utilização de fontes de luz com pontas de formatos e/ ou tamanhos não apropriados (MEYER et al., 2002). Pontas de aparelhos com diâmetros pequenos permitem o posicionamento próximo à margem gengival, enquanto que pontas com diâmetros maiores têm acesso limitado. Torna-se ainda importante considerar que quando as restaurações são realizadas em dentes anteriores, a espessura do incremento de resina composta raramente excede 1 a 2 mm e, nessas situações, a ponta do aparelho pode ser colocada próxima à superfície do material restaurador. Já, em dentes posteriores, a espessura do

incremento não é tão fácil de ser controlada e freqüentemente apresenta 2 a 3 mm (ERNST et al., 2004).

Alguns estudos têm mostrado que os valores da profundidade de polimerização podem ser específicos para cada tipo de material (LINDBERG et al., 2005). Thomé et al. (2007) observaram que a cor, tamanho da partícula e distância de fotoativação influenciaram nos valores de dureza das resinas compostas Z-250 e Filtek Supreme. Cores escuras tendem a absorver luz e demandam mais tempo de irradiação. A atenuação da energia luminosa mediante a distância de fotoativação é maior em resinas de cores escuras ou opacas.

Com objetivo de alertar os cirurgiões-dentistas quanto a possíveis problemas durante o processo de polimerização da resina composta, Rissi e Cabral (2002) observaram as principais variáveis clínicas que podem interferir nesse processo e sugeriram um constante controle clínico, não só pela utilização da técnica incremental, mas, principalmente, através da monitoração da quantidade de energia luminosa empregada durante a fotoativação. Os autores avaliaram a interferência da distância da fonte de luz, da cor e da espessura do incremento de uma resina composta na quantidade de energia luminosa disponível para o processo de polimerização e concluíram que esta sofre influência de todas essas variáveis, o que pode comprometer o sucesso clínico das restaurações.

Além da distância de fotoativação, outro fator que pode influenciar diretamente nos valores de microdureza dos compósitos é o tempo de imersão em soluções específicas, como água destilada, etanol, ácido cítrico e álcool etílico (YAP et al., 2001; FERRACANE; BERGE; CONDON, 1998). A água destilada e o etanol a 10% podem facilmente penetrar na rede polimérica causando a separação da união carga-matriz (BAGHERI et al., 2005). Ferracane, Berge e Condon (1998)

observaram que a dureza da maioria dos compósitos avaliados mostrou-se reduzida após 6 meses de imersão na água. Isto pode ser explicado pelo fato da água agir como uma molécula plastificadora dentro da matriz. No entanto, os autores observaram que o efeito no polímero parece ser limitado quando há a presença de grande quantidade de ligações cruzadas na rede polimérica, a qual dificulta a incorporação de moléculas de água adicionais. Assim, se a água causou uma degradação significativa da carga ou da interface carga-matriz, poder-se-ia esperar que a dureza do compósito fosse continuamente reduzida ao longo do tempo, no entanto não foi o que ocorreu.

O tempo de imersão em certas bebidas também tem mostrado alterar a dureza dos compósitos. Badra et al. (2005) avaliaram a influência de diferentes bebidas (coca cola, cachaça, café e saliva artificial) na microdureza das resinas A110 (microparticulada), Z250 (híbrida) e Flow (fluida) ao longo do tempo (24 h, 7, 30 e 60 dias). Para todas as resinas testadas, os valores de microdureza permaneceram estáveis até o 30º dia, diminuindo significativamente após 60 dias de avaliação. Observaram que todas as bebidas alteraram a microdureza dos materiais e que os efeitos dependeram das características do material, do tipo de bebida e do período avaliado.

Diante dos fatores que podem influenciar na dureza de um compósito, a avaliação do efeito de diferentes distâncias de fotoativação e tempos de imersão nesta propriedade demonstra importância relevante.

2.2 Sorção e Solubilidade

Uma série de mudanças físicas pode ocorrer nos compósitos, resultado da reação de polimerização e da subsequente interação com o ambiente bucal

(MARTIN et al., 2003). Quando a resina é imersa em água, dois diferentes mecanismos ocorrem: o primeiro é a sorção de água que leva ao intumescimento e aumento de massa; e o segundo é a lixiviação de componentes não reagidos, como partículas ou monômeros residuais, levando à perda de massa e redução das propriedades mecânicas do compósito (SIDERIDOU et al., 2008; FERRACANE, 2006). Dessa forma, a sorção de água e a solubilidade dos materiais restauradores tornam-se fatores importantes para a determinação da longevidade e qualidade das restaurações de resina composta (ARCHEGAS et al., 2008).

A sorção de água pelos compósitos é um processo de difusão controlada que ocorre principalmente na matriz resinosa (KALACHANDRA; WILSON, 1992). Estudos têm mostrado que a água penetra a rede polimérica através de porosidades e espaços intermoleculares (FERRACANE, 2006) e é absorvida predominantemente dentro da matriz resinosa (SIDERIDOU et al., 2003). No entanto, o coeficiente de difusão diminui à medida que aumenta a concentração de água na matriz, podendo-se esperar uma redução na taxa de sorção com o aumento do tempo de armazenamento (KALACHANDRA; WILSON, 1992; ÖRTENGREN et al., 2001a). A água absorvida pela matriz polimérica tende a acumular-se, ao longo do tempo, na interface carga-matriz resinosa (KALACHANDRA; WILSON, 1992), provocando a perda da união entre ambas ou até mesmo a degradação hidrolítica das partículas (SÖDERHOLM et al., 1984; BAGHERI et al., 2005). A degradação hidrolítica é o resultado tanto da quebra das ligações químicas na resina ou do amolecimento do compósito através da ação plastificadora exercida pela água (MOHSEN; CRAIG, 1995). Enzimas presentes na saliva também têm mostrado participação no processo de degradação química da matriz resinosa dos compósitos (TOLEDANO et al., 2003).

O efeito do solvente na rede polimérica tem sido descrito como plastificação. O solvente se difunde no interior da rede e separa as cadeias poliméricas, criando uma expansão (FERRACANE, 2006; SIDERIDOU; ARCHILIAS, 2005). No entanto, uma vez que a rede polimérica contém microespaços criados durante a polimerização e volume livre entre as cadeias, parte do solvente é acomodada sem criar alteração do volume (FERRACANE, 2006). Dessa forma, a alteração dimensional da resina composta em um solvente é complexa e difícil de ser predita e depende da composição química do material. No caso da rede polimérica, o polímero intumescce quando imerso em um solvente (SIDERIDOU; ARCHILIAS, 2005) à medida que as forças de atração entre as cadeias poliméricas são excedidas pelas forças de atração entre as moléculas do solvente e os componentes das cadeias. Então, há uma troca de ligações secundárias, levando a um aumento no volume da rede, ao amolecimento devido às poucas interações cadeia-cadeia e, conseqüentemente, à maior plastificação (FERRACANE, 2006).

A sorção de água também é acompanhada pela perda de componentes, o que causa redução no volume (FERRACANE, 2006). Quando o material é imerso em água, alguns dos componentes, como monômeros não reagidos (SIDERIDOU; ARCHILIAS, 2005) ou partículas de carga (SÖDERHOLM et al., 1996) dissolvem-se e são liberados na água (TOLEDANO et al., 2003, HOFMANN et al., 2002; FERRACANE, 2006). Isto resulta na perda de massa e é conhecido como solubilidade. Alguns estudos mostraram que existe correlação entre um reduzido grau de conversão e altas quantidades de componentes liberados (PEARSON; LONGMAN 1989; FERRACANE, 2006).

Dessa forma, os fenômenos de sorção e solubilidade podem ser precursores de uma variedade de processos químicos e físicos que acarretam em efeitos

deletérios na estrutura e função da matriz resinosa (FERRACANE 2006; MALACARNE et al., 2006). Efeitos indesejáveis, como amolecimento da matriz resinosa, degradação da resina, diminuição da resistência ao manchamento e liberação de substâncias, como monômeros não reagidos, impurezas dos monômeros e aditivos podem ocorrer (TODELANO et al., 2003; FERRACANE, 2006). Conseqüentemente, as propriedades da rede polimérica podem ser permanentemente alteradas, levando ao comprometimento das propriedades mecânicas do material e do seu desempenho clínico (FERRACANE, 2006). Estudos têm mostrado diminuição das propriedades mecânicas (FERRACANE et al., 1998), como resistência flexural (CALAIS; SÖDERHOLM, 1988), módulo de elasticidade (ITO et al., 2005; KALACHANDRA; WILSON, 1992; PASTILA et al., 2007), resistência à tensão (SÖDERHOLM; ROBERTS 1990), resistência ao desgaste (SCARRETT et al., 1991) e tenacidade de fratura (FERRACANE; BERGE, 1995). Zhang e Xu (2008) avaliaram o efeito da imersão de compósitos em diferentes meios (água destilada, saliva artificial, etanol/água) na sorção, solubilidade, liberação de monômeros não reagidos, resistência flexural e módulo de elasticidade flexural. Os resultados mostraram que o efeito nas propriedades do material depende do meio de imersão utilizado, onde a solução etanol/ água apresentou o efeito mais significativo. As propriedades mostraram estar relacionadas aos componentes das resinas compostas. Uma solução composta por 75% etanol/ água é considerada o melhor solvente para as resinas compostas, pois quando o etanol penetra a rede polimérica causa uma expansão da estrutura, permitindo a liberação de monômeros não reagidos e causando a dissolução das cadeias poliméricas lineares. No entanto, a cavidade bucal apresenta um ambiente provavelmente menos agressivo que o etanol (FERRACANE, 1994).

A redução nas propriedades do material está principalmente relacionada à sorção de água pelo polímero, a qual causa amolecimento do componente resinoso pelo intumescimento da rede polimérica e redução das forças friccionais entre as cadeias poliméricas (FERRACANE et al., 1998). Uma vez que a rede encontra-se saturada de água e torna-se amolecida, a estrutura do compósito estabiliza e não ocorre redução adicional das suas propriedades. Essa limitada redução nas propriedades torna evidente que a degradação adicional, como a hidrólise da interface carga-matriz, pode estar ausente ou pode não continuar de forma significativa, uma vez que o compósito torna-se saturado e permanece molhado (FERRACANE et al., 1998). Porém, deve ser considerado que a presença de outros solventes e esterases encontrados na cavidade bucal podem causar um efeito mais deletério que a água nas propriedades mecânicas dos compósitos (FERRACANE et al., 1998). Em adição à perda das propriedades mecânicas, alguns dos componentes liberados podem estimular o crescimento de bactérias ao redor da restauração, promovendo reação alérgica e levando ao aparecimento de cáries secundárias (SIDERIDOU et al., 2003).

Segundo Ferracane (2006), a sorção de água pode afetar a biocompatibilidade e a estabilidade dimensional, levando a curta durabilidade dos compósitos. A relação entre sorção de água e alteração dimensional foi observada por Hirasawa et al. (1983). Outros autores enfatizaram que a sorção de água pelo compósito pode ter conseqüências clínicas benéficas, uma vez que a expansão gerada poderia melhorar o selamento marginal da restauração (MOMOI; McCABE, 1994) e contribuir para o relaxamento da tensão gerada durante a contração de polimerização (FEILZER; de GEE; DAVIDSON, 1990). A expansão resultante da sorção de água pode ser um fenômeno clinicamente desejável se o mesmo

compensar completamente os efeitos da contração. Um coeficiente de expansão que excede o valor de contração não é desejável, uma vez que tensões adicionais poderão ser geradas na estrutura dentária (MARTIN et al., 1998; SIDERIDOU et al., 2008a). Alguns autores afirmaram que a sorção de água é insuficiente para provocar uma expansão linear que compense a contração de polimerização, trazendo mais prejuízos do que benefícios, porque pode comprometer as propriedades mecânicas do material (HIRASAWA et al., 1983).

Sabe-se que o grau de conversão das resinas compostas interfere diretamente em seu desempenho clínico, podendo alterar suas propriedades físico-mecânicas. Quanto maior a quantidade de monômeros que se transformam em polímeros, maior o grau de conversão da resina e melhores as propriedades do material. Entretanto, a completa polimerização das resinas compostas não é conseguida na maioria das vezes e seu grau de conversão é de 50 a 70% em média (IMAZATO et al., 2001; PALIN et al., 2003).

O grau de conversão depende, entre outros fatores, da distância existente entre a superfície da resina composta e a ponta da fonte de luz e tem mostrado influenciar na sorção de água e solubilidade do compósito (FERRACANE, 2006; PEARSON; LONGMAN, 1989). A irradiação do compósito com reduzida intensidade de luz e, conseqüentemente, a inadequada polimerização do material tem mostrado aumentar a sorção de água e a solubilidade (PEARSON; LONGMAN, 1989), uma vez que a rede polimérica pode encontrar-se com menor densidade de ligações cruzadas (HOFMANN et al., 2002; EL-HEJAZI, 2001). Pearson e Longman (1989) observaram que a redução em 75% do tempo de exposição recomendado pelo fabricante aumentou a sorção e solubilidade dos compósitos avaliados. Conseqüentemente, piores propriedades físicas, biológicas e estéticas seriam

encontradas, além de levar ao desenvolvimento de cárie secundária por maior acúmulo de biofilme na superfície da restauração (GUIMARÃES et al., 2008).

É importante considerar que diferentes procedimentos de irradiação levarão a diferentes estruturas do polímero (ASMUSSEN; PEUTZFELDT 2003a; LOPES et al., 2009). Asmussen e Peutzfeldt (2003a), estudando a estrutura do polímero de uma resina composta em relação à distância da superfície irradiada (0,5 a 4,0 mm), comentaram que o aumento da susceptibilidade ao amolecimento nos grupos fotoativados a 3,0-3,5 mm de distância pode estar associado à menor densidade ligações cruzadas existentes. Explicaram que as camadas mais profundas do compósito polimerizam em uma velocidade inferior às mais próximas da superfície irradiada. De acordo com estudos prévios (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001a; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001b; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a), a menor velocidade de polimerização pode levar à formação de uma estrutura polimérica mais linear, pois relativamente poucos centros de crescimento são formados. Com uma maior velocidade de polimerização, causada por uma maior densidade de potência, múltiplos centros de crescimento são formados, levando a formação de uma estrutura polimérica mais ramificada e com ligações cruzadas. Especula-se que um baixo grau de ligações cruzadas resultará em maior sorção de água (FERRACANE, 2006; SOH; YAP, 2004). Dessa forma, a qualidade da estrutura polimérica, resultante do modo de fotoativação utilizado, pode levar a diferenças nos fenômenos de sorção e solubilidade (LOPES et al., 2009).

Torna-se importante ressaltar que a qualidade da cadeia polimérica formada durante a polimerização do material também irá determinar a extensão em que ocorrerá a sorção e intumescimento quando um polímero é imerso em um solvente (FERRACANE, 2006). Dessa maneira, as características estruturais dos polímeros

são fundamentais para a determinação da extensão na qual os polímeros serão afetados pelo ambiente aquoso. A presença de ligações cruzadas entre cadeias poliméricas geralmente resulta em uma diminuição significativa da permeabilidade do polímero à água, devido à diminuição do volume livre e a capacidade das cadeias poliméricas de intumescerem (SIDERIDOU et al., 2003). Moléculas de água que estão firmemente unidas aos locais polares ao longo da cadeia polimérica exibem alto efeito plastificador, causando a redução das propriedades mecânicas pela alteração da mobilidade de seus segmentos de cadeia (MALACARNE et al., 2006).

As principais conseqüências de uma incompleta polimerização e reduzida conversão dos monômeros em polímeros são o comprometimento estético, maior possibilidade de infiltração marginal e maior sorção e solubilidade do compósito (PEARSON; LONGMAN, 1989; EL-HEJAZI, 2001; FERRACANE, 1994). A solubilidade depende principalmente do grau de conversão do material, pois quanto maior o grau de conversão, menores os valores de solubilidade (SIDERIDOU et al., 2003; SILVA et al., 2008; ZHANG; XU, 2008). Pearson e Longman (1989) mostraram que a irradiação reduzida aumenta significativamente a solubilidade. Tanaka et al. (1991) observaram que o aumento do tempo de irradiação de 30 s para 50 s, resultou em significativa diminuição no conteúdo de monômero residual e nas quantidades liberadas na água.

Grandes quantidades de componentes não reagidos são liberados devido à irradiação insuficiente da resina composta quando comparado com espécimes adequadamente fotoativados (PEARSON; LONGMAN, 1989; FERRACANE, 1994). Os monômeros não reagidos são liberados para o meio bucal e demonstram ser citotóxicos (RATHBUN et al., 1991; POLYDOROU et al., 2007), podendo causar reações pulpares. Os monômeros mais utilizados nas resinas compostas são o Bis-

GMA, TEGDMA e UDMA e, apesar dos três exibirem citotoxicidade, o Bis-GMA e o UDMA são os mais citotóxicos (TABATABAEE et al., 2009; FERRACANE, 2006; SIDERIDOU; ARCHILIAS, 2005).

Estudos têm mostrado que os monômeros residuais são os principais componentes liberados dos compósitos dentais, ocorrendo principalmente nos primeiros 7 dias após a fotoativação (RUYTER 1995; ÖRTENGREN et al., 2001a). O monômero TEGDMA tem sido identificado como a principal substância liberada das resinas compostas por apresentar moléculas pequenas, porém, pequenas quantidades de outros monômeros, tais como o Bis-GMA e o UDMA podem também ser liberados na água (ÖRTENGREN et al., 2001a; TABATABAEE et al., 2009). Conseqüentemente, a lixiviação desses componentes pode influenciar a alteração dimensional inicial do compósito, o comportamento clínico, o aspecto estético da restauração e a biocompatibilidade do material (FERRACANE, 2006; SIDERIDOU et al., 2008a; TOLEDANO et al., 2003; PEARSON; LONGMAN, 1989 POLYDOROU et al., 2007). Segundo TABATABAEE et al. (2009), a quantidade de monômeros liberados das resinas compostas é influenciada pela densidade de potência da fonte de luz, pelo tipo de resina composta utilizada (ex: conteúdo de carga) e pelo meio de imersão.

Diferenças detectadas em termos de sorção de água e solubilidade podem estar relacionadas à composição das resinas compostas testadas (ARCHEGAS et al., 2008; HOFMANN et al., 2002; VICHI et al., 2004). As resinas compostas Z100 e Filtek Z-250 contêm essencialmente a mesma carga, porém diferente matriz resinosa. Na resina composta Z100, a matriz resinosa consiste de Bis-GMA e TEGDMA, enquanto que na Filtek Z-250, a maioria do TEGDMA foi substituída por uma mistura de UDMA e Bis-EMA (SIDERIDOU et al., 2003). O UDMA e Bis-EMA

criam uma rede polimérica mais rígida que o TEGDMA, a qual absorve menos água e libera maior quantidade de monômeros não reagidos. O Bis-GMA mostrou formar a rede mais rígida, a qual absorve menos água que a resina composta pelo TEGDMA, e mais água que a as resinas feitas por UDMA e Bis-EMA (SIDERIDOU et al., 2003). A Z-250 apresentou maior módulo de elasticidade, menor sorção de água e solubilidade que a Z100. Essas diferenças nas propriedades dos compósitos são resultado do provável maior conteúdo de carga da Z-250 e de diferenças na estrutura da matriz resinosa orgânica (SIDERIDOU et al., 2003). Sideridou et al. (2005), estudando a liberação de monômeros da resina composta Filtek Z-250, observaram que a maioria dos monômeros liberados era constituída de UDMA, o que indica que a matriz resinosa desse compósito provavelmente contém maiores quantidades de UDMA que Bis-GMA e Bis-EMA (SIDERIDOU; ARCHILIAS, 2005). A natureza e a rigidez da molécula de Bis-GMA, em adição ao seu alto peso molecular e pobre solubilidade, parecem prevenir sua difusão em ambiente aquoso (TABATABAEE et al., 2009; SIDERIDOU et al., 2005).

O processo de incorporação de água das resinas polimerizadas ou a permeabilidade pode estar relacionado à polaridade das cadeias poliméricas. Há duas teorias quanto à difusão de água: a “teoria da interação” onde moléculas de água se anexam à cadeia polimérica via ligação com hidrogênio (afinidade da água por grupos polares hidrofílicos no polímero), induzindo intumescimento e plastificação do polímero; e a “teoria do volume livre” onde a sorção de água nos polímeros não-polares se dá pelo movimento de moléculas de água “não ligadas” através dos espaços vazios dentro do polímero, sem nenhuma inter-relação com as moléculas polares no material (MALACARNE et al., 2006; FABRE et al., 2007).

Fatores relacionados à química e estrutura da rede polimérica são importantes para determinar em qual extensão o material será afetado pelo ambiente aquoso (FERRACANE, 2006). Importantes características químicas incluem a hidrofiliidade do polímero e as diferenças no parâmetro de solubilidade entre o polímero e o solvente. A extensão de sorção do solvente pelo polímero é uma função das diferenças existentes no parâmetro de solubilidade entre o polímero e o solvente, sendo maior quando essa diferença é pequena (FERRACANE, 2006). As características estruturais incluem a densidade de ligações cruzadas e a porosidade da rede polimérica. Polímeros com alta densidade de ligações cruzadas são mais resistentes às reações degradativas, baseado no limitado espaço e nos caminhos disponíveis para que as moléculas do solvente se difundam no interior da estrutura. A alta porosidade ou presença de microfendas parece facilitar o transporte do fluido para dentro e fora do polímero, levando à maior sorção e lixiviação dos componentes (FERRACANE, 2006).

A natureza hidrofílica de um polímero está, em grande parte, relacionada à química de seus monômeros e às ligações das cadeias poliméricas (FERRACANE, 2006). O volume de água que pode ser absorvido é determinado pelo conteúdo de monômeros hidrofílicos presentes no material (MARTIN, 1998; MALACARNE et al., 2006; ÖRTENGREN et al., 2001a). No caso de uma matriz mais hidrofílica, ocorre um aumento de sorção de água (ÖRTENGREN et al., 2001a; ITO et al., 2005), enquanto que em uma matriz hidrofóbica a sorção é menor, causando menor impacto na cor do compósito (DIETSCHI et al., 1994; BUCHALLA et al., 2002). Örtengren et al. (2001b) mostraram que a sorção e solubilidade da resina composta estão relacionadas à hidrofiliidade da matriz e à composição química das partículas, além de serem sensíveis ao tempo e ao pH da solução. Janda et al.

(2007a) observaram uma correlação significativa entre sorção de água e partícula de carga, no entanto, nenhuma correlação foi encontrada entre partícula de carga e solubilidade. Os autores acreditam que a sorção e solubilidade dependem da composição individual de cada material.

A degradação química do compósito também é dependente do tempo (SÖDERHOLM et al., 1996). Vários estudos que avaliaram o efeito das condições de armazenamento na estabilidade da rede polimérica formada expuseram os materiais restauradores à água, saliva artificial, álcool e solventes ácidos ou básicos com o intuito de avaliar o processo de envelhecimento do material. A ação desses meios mostrou-se variada, mas geralmente envolve a liberação de componentes não reagidos e a degradação da cadeia polimérica (FERRACANE, 2006).

Como visto, diversos fatores podem influenciar nos fenômenos de sorção de água e solubilidade. A água exerce importante papel na degradação química dos compósitos, o que pode resultar em propriedades mecânicas reduzidas (ITO et al., 2005; KALACHANDRA; WILSON, 1992; PASTILA et al., 2007; SÖDERHOLM; ROBERTS 1990; FERRACANE et al., 1998) e, conseqüentemente, em problemas clínicos a curto ou longo prazo.

2.3 Estabilidade de Cor

Após a polimerização da resina composta, o movimento de entrada das moléculas de água causa mobilização dos íons no interior da matriz e o movimento de saída dos componentes não reagidos (FERRACANE, 1994). A liberação desses componentes contribui para adicional contração e perda de peso, enquanto que a sorção de água resulta no intumescimento do material e no ganho de massa. Esse

processo pode causar amolecimento da matriz resinosa e redução da resistência do material ao manchamento (SÖDERHOLM et al. 1984; YAZICI et al., 2007).

Três tipos de descoloração do compósito são geralmente descritos: 1- descoloração externa devido ao acúmulo de placa e manchamento da superfície, 2- alteração de cor superficial ou sub-superficial devido à degradação superficial, ou suave penetração e reação dos agentes corantes com a camada superficial da resina composta (adsorção), 3- descoloração do corpo ou intrínseca devido às reações físico-químicas nas porções mais profundas da restauração (HÖRSTED-BINSLEV, 1988).

Vários fatores intrínsecos e extrínsecos influenciam a estabilidade de cor dos compósitos, tais como matriz resinosa, tipo de partícula de carga (UM; RUYTER, 1991; VICHÍ et al., 2004; BUCHALLA et al., 2002; YAZICI et al., 2007; SCHULZE et al., 2003; RÜTTERMANN et al., 2008; JANDA et al., 2007b), sistema fotoiniciador (JANDA et al., 2007b), aparelho fotoativador (YAZICI et al., 2007), técnica de polimerização (JANDA et al., 2007b; RÜTTERMANN et al., 2008), grau de conversão (IMAZATO et al., 1995), tempo de irradiação (JANDA et al., 2004; JANDA et al., 2005; JANDA et al., 2007b; PRADO JÚNIOR; PORTO NETO, 2000; RÜTTERMANN et al., 2008), técnica de acabamento e polimento da restauração (GÜLER et al., 2009), acúmulo de placa bacteriana, sorção de água (REIS et al., 2001; VICHÍ et al., 2004), contato com alimentos e substâncias corantes (YAZICI et al., 2007; UM; RUYTER, 1991; SAMRA et al., 2008) e tempo de imersão, uma vez que as alterações de cor tornam-se mais intensas à medida que aumenta o tempo de imersão (IMAZATO et al., 1995, SAMRA et al., 2008; YAZICI et al., 2007; CHAN et al., 1980; JANDA et al., 2007b).

Fatores extrínsecos, como a absorção de corantes advindos de bebidas e alimentos, podem causar o manchamento dos compósitos e estão intimamente relacionados aos hábitos de higiene bucal, à dieta e ao cigarro (SCHULZE et al., 2003; UM; RUYTER, 1991). O manchamento dos compósitos por soluções corantes, como café, chá, vinho tinto, coca-cola, sucos e outras bebidas; e a estabilidade de cor após o envelhecimento em diferentes soluções têm sido freqüentemente estudados (YAZICI et al., 2007; TOPCU et al., 2009; GÜLER et al., 2009; MAROTTI et al., 2006; CARVALHO et al., 2003; DIETSCHI et al., 1994; SAMRA et al., 2008; UM; RUYTER, 1991; PRADO JÚNIOR; PORTO NETO, 2000). A maioria dos autores concorda que o manchamento superficial das resinas compostas está relacionado à penetração, através da superfície da restauração, de corantes comuns contidos nos alimentos e bebidas como café, chá, molho de soja, refrigerante à base de cola, vinho, nicotina e impregnação por íons metálicos (CHAN et al., 1980; UM; RUYTER, 1991; TOPCU et al., 2009).

O consumo de diferentes bebidas e, até mesmo da água, pode afetar a estética e as propriedades dos compósitos, tais como microdureza e rugosidade; no entanto, o impacto nas propriedades pode estar diretamente relacionado à quantidade e freqüência de ingestão (BADRA et al., 2005). Assim, o tempo de imersão na solução corante tem-se mostrado significativo na estabilidade de cor e em outras propriedades das resinas compostas (YAZICI et al., 2007; PRADO JÚNIOR; PORTO NETO, 2000; CHAN et al., 1980; BADRA et al., 2005). Alguns trabalhos revelaram que o manchamento mais intenso ocorre nos 7 primeiros dias, porém tende a continuar de forma mais lenta até o término do período experimental (SAMRA et al., 2008; PRADO JÚNIOR; PORTO NETO, 2000), dependendo do meio de imersão utilizado. Principalmente após 7 dias ou períodos mais longos de

imersão, os materiais mostram alteração de cor visualmente perceptível (REIS et al., 2001) e, por esta razão, os hábitos de ingestão de bebidas por parte dos pacientes devem ser considerados durante a escolha do compósito a ser utilizado, principalmente para restauração de dentes anteriores.

Chan et al. (1980) verificaram o manchamento de restaurações de resina composta utilizando soluções à base de café, chá, molho de soja, refrigerante e água destilada em molares extraídos. O café e o molho de soja apresentaram maior manchamento que o chá e o refrigerante, sendo mais evidenciado após sete dias de imersão. O tempo mostrou-se um fator relevante e os autores concluíram que quanto maior o tempo de imersão, maior é o manchamento das restaurações. Reis et al. (2001) avaliaram a estabilidade de cor inicial de quatro compósitos resinosos híbridos, sendo três compactáveis e um microhíbrido e concluíram que houve variação perceptível da cor final após uma semana de imersão dos corpos-de-prova em água destilada a 37°C. Topcu et al. (2009) avaliaram a capacidade de manchamento de diferentes tipos de resinas compostas quando imersas em saliva artificial, suco de limão, café, coca-cola, suco de cereja, suco de cenoura e vinho tinto por 24 h. Concluíram que tanto as resinas compostas quanto as bebidas são fatores significantes que podem afetar a estabilidade de cor. Após a imersão por 24 h, todos os materiais mostraram alterações de cor visíveis, sendo que o vinho tinto foi o que causou o maior manchamento comparado às outras soluções, em três das quatro resinas compostas avaliadas.

Alguns estudos têm mostrado que o vinho tinto causa o manchamento mais severo quando comparado a outras bebidas por apresentar alta concentração de pigmentos na sua composição (TOPCU e al., 2009, LEPRI, 2008). Adicionalmente, o baixo pH (3,0 a 3,9) (VILLALTA et al., 2006) e a presença de álcool na sua

composição parecem causar o amolecimento da resina e, conseqüentemente, promover uma alteração da matriz resinosa e da interface carga-matriz (YAP et al., 2001), causando o manchamento do material. Especula-se que o amolecimento da matriz resinosa favorece o deslocamento das partículas de carga da matriz, levando à formação de uma superfície “porosa” (BADRA et al., 2005).

Os fatores intrínsecos envolvem a descoloração do próprio material, como a alteração da matriz resinosa e da interface carga-matriz (UM; RUYTER, 1991; REIS et al., 2003; GÜLER et al., 2009), e a incompleta polimerização do material (JANDA et al., 2004; JANDA et al., 2005; JANDA et al., 2007b; RÜTTERMANN et al., 2008). Assim, as descolorações intrínsecas são material-dependentes e irreversíveis, ao contrário das descolorações extrínsecas, as quais são causadas pela absorção de corantes ou pela presença de placa e podem, muitas vezes, ser removidas com o polimento do material restaurador (REIS et al., 2003).

Dentro dos fatores intrínsecos, o sistema fotoiniciador presente no material pode exercer influência na estabilidade de cor das resinas compostas (JANDA et al., 2004; SCHNEIDER et al., 2008). A canforoquinona é o fotoiniciador mais encontrado nos compósitos e, apesar de se apresentar em pequenas quantidades, também influencia de forma significativa na cor do material (JANDA et al., 2004). A canforoquinona apresenta um pico de absorção na faixa de 468 nm, coincidindo com o espectro de emissão dos aparelhos fotoativadores. Durante a irradiação, este fotoiniciador altera sua cor de amarelo para quase incolor, no entanto, se a irradiação não é suficientemente forte ou longa, certa quantidade de amarelo permanece. Assim, é característico do material que contém a canforoquinona como fotoiniciador apresentar-se mais amarelo previamente à irradiação. Sob a influência da luz ambiente, ocorre uma conversão adicional da canforoquinona, apesar da

resina já estar polimerizada (JANDA et al., 2004). Outros componentes importantes do sistema fotoiniciador são as amins terciárias, as quais atuam como sinergistas ou aceleradores, e durante a foto-reação geram produtos que tendem a causar descolorações que vão de amarelas a marrons avermelhadas sob a influência da luz ou calor (JANDA et al., 2004; SCHNEIDER et al., 2008). Na interação entre a canforoquinona e a amina terciária há a produção de radical livre. Um fator que influencia essa formação de radicais nos sistemas canforoquinona/ amina é a concentração de fotoiniciadores, que varia entre as marcas comerciais. Há evidências que concentrações mais altas de fotoiniciadores melhoram o grau de conversão e as propriedades mecânicas dos polímeros. Infelizmente, não há benefícios observados, além de poderem afetar a estética devido à cor amarela da canforoquinona. Além disso, tem sido mostrado que a relação entre concentração e eficiência tem um limiar, que, quando ultrapassado, o excesso de canforoquinona pode diminuir a conversão dos monômeros em polímeros (SCHNEIDER et al., 2008).

A natureza da matriz resinosa influencia a estabilidade de cor dos compósitos (VICHI et al., 2004). Na presença de uma matriz mais hidrofílica, ocorre o aumento da sorção de água, resultando em uma coloração mais branca e opaca. Se a matriz resinosa é mais hidrofóbica, a sorção de água é menor e apenas um pequeno impacto na cor será observado (DIETSCHI et al., 1994). Dietschi et al. (1994), avaliando a estabilidade de cor de 10 compósitos híbridos e microparticulados, concluíram que as alterações cromáticas estão diretamente relacionadas à composição do material. Uma baixa susceptibilidade ao manchamento está geralmente relacionada a uma baixa sorção de água ou baixa concentração de matriz orgânica e a uma satisfatória lisura após o polimento (DIETSCHI et al., 1994).

O tipo e tamanho das partículas de carga também afeta a lisura da superfície e a susceptibilidade ao manchamento (YAZICI et al., 2007; REIS et al., 2003; VICHI et al., 2004; VILLALTA et al., 2006). Villalta et al. (2006) observaram que o compósito nanoparticulado testado apresentou maior alteração de cor que o compósito microhíbrido após a imersão em diferentes soluções corantes (café e vinho tinto). Resultados semelhantes foram encontrados por Yazici et al. (2007) quando comparada uma resina composta de nanopartículas com uma híbrida. Os autores atribuíram tais resultados à composição de cada material, ressaltando que compósitos com menor conteúdo de carga em volume podem absorver mais água na interface carga-matriz. Uma vez que essa interface constitui-se um dos pontos mais críticos do compósito, com alta sensibilidade à sorção (KALACHANDRA, 1989), a água absorvida pode causar a separação da união carga-matriz ou a degradação hidrolítica das partículas, resultando em baixa estabilidade de cor do material (SCHULZE et al., 2003; YAZICI et al., 2007). Autores como Pires-de-Souza et al. (2007) verificaram que resinas compostas de micropartículas apresentaram maior alteração de cor que as microhíbridas e híbridas quando submetidas ao envelhecimento artificial (vapor). Considerando que a percepção de cor está diretamente relacionada à reflexão da luz, os autores atribuíram tais resultados à degradação hidrolítica da interface carga-matriz, a qual pode alterar o caminho pelo qual a luz se dispersa no interior das partículas (PIRES-DE-SOUZA et al., 2007) .

A literatura ainda mostra que a estabilidade de cor dos compósitos depende da qualidade de polimerização do material (RÜTTERMANN et al., 2008; JANDA et al., 2005). A efetividade da polimerização não é dependente somente da composição e do tamanho das partículas de carga do material, mas também da fonte de luz utilizada (RÜTTERMANN et al., 2008), do tempo de exposição

(LINDBERG et al. 2005; TATE et al., 1999, ARAÚJO et al., 2008), da intensidade da luz (LINDBERG et al. 2005) e da distância de fotoativação (LINDBERG et al. 2005; CORCIOLANI et al., 2008; MOON et al., 2004; THOMÉ et al., 2007; PIRES et al., 1993). Prado Júnior e Porto Neto (2000) analisaram os efeitos da distância da fonte de luz (0 e 10 mm), do tempo de polimerização (10 s e 40 s) e da presença de agentes extrínsecos (água destilada e café) sobre a estabilidade de cor de uma resina composta híbrida. Observaram que o tempo de polimerização e o tempo de imersão na solução de café foram fatores determinantes na estabilidade de cor da resina composta avaliada, pois quanto maior o tempo de polimerização e de imersão, menor o grau de manchamento da resina. No entanto, a distância não mostrou efeito estatisticamente significativo. Rüttermann et al. (2008) investigaram a estabilidade de cor de materiais resinosos quando polimerizados com LED de forma constante ou exponencial. Observaram que a extensão da descoloração dependeu do modo de polimerização, do tempo de exposição e das condições de armazenamento. Comentaram que a sorção de água não foi causada somente pela matriz hidrofílica, mas também pela incompleta conversão dos monômeros.

A diminuição da densidade de potência causará menor grau de conversão dos monômeros e, conseqüentemente, baixa estabilidade de cor do compósito (IMAZATO et al., 1995). Resinas compostas com maior grau de conversão apresentam menor descoloração (IMAZATO et al., 1995) e melhores propriedades mecânicas (FERRACANE; GREENER, 1986).

De acordo com Peutzfeldt e Asmussen (2005), o desempenho clínico dos materiais à base de monômeros dimetacrilatos é altamente dependente do grau de conversão e da estrutura polimérica formada. As cadeias poliméricas com menor densidade de ligações cruzadas são mais suscetíveis a ação do solvente e,

conseqüentemente, à plastificação (SOH; YAP, 2004). A presença de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas geralmente resulta em uma diminuição significativa na permeabilidade do polímero à água devido à diminuição do volume livre existente (MALACARNE et al., 2006). Soh e Yap (2004) investigaram a influência de diferentes modos de polimerização (convencional, pulso tardio, soft-start, pulso) na densidade de ligações cruzadas da resina composta Z100. Observaram que a densidade de ligações cruzadas foi dependente do modo de polimerização e que o pulso tardio resultou em uma estrutura polimérica mais linear e mais suscetível ao amolecimento em etanol.

Considerando que o grau de conversão pode ser indiretamente analisado pelo teste de microdureza, Schulze et al. (2003) avaliaram a cor e a microdureza de cinco resinas quimicamente ativadas e de cinco fotopolimerizáveis em função do envelhecimento acelerado e não observaram correlação entre alteração de cor e dureza após o envelhecimento.

Como visto, a composição da resina composta e o grau de conversão exercem importante papel na estabilidade de cor dos compósitos (IMAZATO et al., 1995). A afinidade da matriz resinosa por corantes é modulada pelo grau de conversão, pois, quando este se mostra insuficiente, tende a favorecer a absorção de algumas substâncias corantes (de GEE et al., 1984). Tem sido mostrado que materiais que exibem altos valores de sorção de água são mais facilmente corados por corantes hidrofílicos em soluções aquosas, sendo que a água age como veículo de penetração (DIETSCHI et al., 1994), carregando os corantes durante o processo de sorção de água (JANDA et al., 2004; IMAZATO et al., 1999). Segundo DIETSCHI et al. (1994), a maior sorção de água acontece durante os sete primeiros dias após o contato inicial com o meio e a descoloração segue a evolução desse fenômeno.

Dessa forma, a resina composta subpolimerizada pode causar efeitos indesejáveis, como sorção de água e solubilidade de monômeros não reagidos, tornando-a mais suscetível ao manchamento.

A estabilidade de cor também depende do método de envelhecimento utilizado. Enquanto o armazenamento a seco mostra-se suave e não provoca descoloração severa do compósito, o armazenamento em água é mais agressivo (JANDA et al., 2007b). Vários estudos têm avaliado o efeito do armazenamento em água, em diferentes períodos, na estabilidade de cor dos compósitos e têm encontrado que a mesma exerce influência sobre esta propriedade (BUCHALLA et al., 2002, IMAZATO et al., 1995). A descoloração intrínseca dos compósitos pode também ser resultado do envelhecimento sob várias condições físico-químicas, como irradiação visível e ultravioleta, mudança de temperatura e umidade, luz de xenônio (BUCHALLA et al., 2002; SCHULZE et al., 2003; FURUSE et al., 2008).

Vários métodos foram desenvolvidos para a mensuração da cor, como a espectrofotometria e a colorimetria, o que tornou possível o estudo dos parâmetros relacionados com a estabilidade de cor dos compósitos (UM; RUYTER, 1991; BUCHALLA et al., 2002; PIRES-DE-SOUZA et al., 2007). O espectrofotômetro tem sido amplamente utilizado para mensuração da cor e apresenta melhores resultados quando comparado à avaliação visual. O sistema empregado nesses equipamentos normalmente é baseado no sistema CIELab. Este corresponde a um sistema de coordenadas, onde o valor de L^* é a medida de luminosidade (SAMRA et al., 2008) de um objeto e é quantificado com uma escala que varia do preto (zero) ao branco (100). O olho humano percebe esta característica de cor mais claramente, uma vez que a quantidade de células responsáveis pelo preto e branco é muito maior que as células responsáveis pela visão colorida. Assim qualquer perda na luminosidade é

crítica para a estabilidade de cor e para o sucesso clínico do material (SAMRA et al., 2008). Os valores de a^* e b^* são medidas de cromaticidade, onde a^* designa o eixo verde-vermelho. Isso significa que quando o valor for negativo mostrará desvio para tonalidade verde e quando for positivo para o vermelho. O valor b^* corresponde o eixo azul-amarelo e quando este apresentar valor negativo o desvio será no sentido da tonalidade azul e quando for positivo mostrará desvio no sentido amarelo. A diferença de cor é obtida pelo cálculo $\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$. A resistência aos efeitos do manchamento causado pelas soluções, como chá, café e suco são medidos com um espectrofotômetro e são expressas em unidades de ΔE^* , com os valores mais baixos indicando uma menor coloração (LEPRI, 2008). O valor de ΔE^* representa a mudança de cor relativa que um observador poderia relatar para os materiais após imersão nas soluções ou entre diferentes períodos (TOPCU et al., 2009).

O contato dos materiais restauradores com o ambiente bucal, associado aos mais variados tipos de alimentos e bebidas, muitas vezes acompanhados de corantes, induzem as restaurações ao manchamento e alterações superficiais em um curto período de tempo (TOPCU et al., 2009; DINELLI et al., 1994-1995). Considerando que a inadequada polimerização do compósito pode levar ao aumento da susceptibilidade ao manchamento quando imerso em soluções corantes, torna-se importante avaliar a alteração de cor do material quando utilizadas diferentes distâncias entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície da resina composta.

3 Proposição

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar “in vitro” a influência da distância da ponta da fonte de luz na microdureza, sorção de água, solubilidade e estabilidade de cor de uma resina composta microhíbrida.

As seguintes hipóteses nulas foram testadas:

1. Não há diferença nos valores de microdureza do compósito avaliado, tanto no topo quanto na base, quando utilizadas diferentes distâncias de fotoativação;
2. Não há diferença nos valores de microdureza entre as superfícies topo e base, utilizando-se diferentes distâncias de fotoativação;
3. Não há diferença nos valores de microdureza em relação ao tempo de armazenamento, tanto no topo quanto na base, quando utilizadas diferentes distâncias de fotoativação;
4. Não há diferença nos valores de sorção de água quando utilizadas diferentes distâncias de fotoativação;
5. Não há diferença nos valores de solubilidade quando utilizadas diferentes distâncias de fotoativação;
6. Não há diferença na alteração de cor causada pelo suco de uva quando avaliados diferentes tempos de imersão;
7. Não há diferença na alteração de cor causada pelo suco de uva quando utilizadas diferentes distâncias de fotoativação.

4 Material e Métodos

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Microdureza

4.1.1 Delineamento experimental

Os fatores em estudo foram a distância entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície da resina composta em 4 níveis (0 mm, 5 mm, 10 mm e 15 mm), tempo em 3 níveis (24 horas, 6 meses e 1 ano) e superfície em 2 níveis (topo e base). A variável de resposta quantitativa foi a microdureza Knoop (KHN).

4.1.2 Confeção dos corpos-de-prova

Para a confecção dos corpos-de-prova foi selecionada a resina composta microhíbrida Filtek™ Z-250 (3M/ESPE), cor A3, acondicionada em bisnagas contendo 4 g (Figura 1). As informações sobre a composição básica da resina composta utilizada neste estudo encontram-se na Tabela 1.

Figura 1 - Resina composta Filtek Z-250

Tabela 1 – Composição da resina composta Filtek Z-250

Matriz Orgânica	Carga Inorgânica	Porcentagem de carga	Tamanho médio das partículas
Bis-GMA Bis-EMA UDMA	Zircônia/ Sílica	60% de carga inorgânica em volume	0,01 a 3,5 µm

Foram confeccionados 20 corpos-de-prova da resina composta Filtek Z-250, com auxílio de uma matriz de teflon bipartida com 6,0 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura. As duas partes da matriz foram contidas com um anel metálico para a sua estabilização (Figura 2).

Figura 2 - Desenho esquemático do modelo da matriz de teflon utilizada para confecção dos corpos-de-prova: A- matriz de teflon, B- anel metálico, C- matriz de teflon confeccionada

Para obtenção dos corpos-de-prova, a matriz foi posicionada sobre uma placa de vidro seguida por uma tira de poliéster, sendo a resina composta inserida na matriz em um único incremento com auxílio de uma espátula de titânio Thompson nº 6. Outra tira de matriz de poliéster foi posicionada sobre a resina composta, seguida de uma lâmina de vidro sobre a qual foi aplicada pressão digital por 15 segundos, com o intuito de comprimir levemente o material, obtendo nivelamento, lisura superficial e espessura padronizada (Figura 3).

Figura 3 - Desenho esquemático do modo de confecção dos corpos-de-prova: placa de vidro (A), tira de poliéster (B), inserção do compósito (C), utilização de outra tira de poliéster (D), lâmina de vidro (E)

A lâmina de vidro foi então removida e a fotoativação dos espécimes realizada com a lâmpada halógena Astralis 3 (Ivoclar – Vivadent), com densidade de potência de 640 mW/cm^2 (Figura 4).

Figura 4 - Aparelho Astralis 3 (Ivoclar – Vivadent)

A intensidade de luz foi monitorada pelo radiômetro Curing Radiometer Model (Demetron), sendo realizada uma nova aferição a cada cinco espécimes. Os corpos-de-prova foram fotoativados variando-se a distância entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície da resina composta, de acordo com os seguintes grupos experimentais (n=5): G1- 0 mm, G2- 5 mm, G3- 10 mm, G4- 15 mm (Figura 5).

Figura 5 - Desenho esquemático das distâncias utilizadas para a fotoativação da resina composta: A- 0 mm, B- 5 mm, C- 10 mm, D- 15 mm

O aparelho foi fixado a um suporte que padronizou as variações da distância de fotoativação (Figura 6). Cada espécime foi fotoativado por 20 segundos, de acordo com as instruções do fabricante, com a ponta do aparelho posicionada

perpendicularmente à superfície do material. Os espécimes foram removidos da matriz (Figura 7) e o acabamento lateral foi realizado removendo-se os excessos mais grosseiros com uma lâmina de bisturi n.º 12.

Figura 6 - Aparelho fotoativador acoplado ao suporte

Figura 7 - Corpos-de-prova confeccionados

4.1.3 Avaliação da Microdureza

Após a confecção dos corpos-de-prova, uma pequena marcação foi realizada, com auxílio de uma lâmina de bisturi, na superfície oposta a que recebeu exposição direta da fonte de luz, sendo esta considerada “base” e a oposta “topo”. Em seguida, os corpos-de-prova foram armazenados em recipiente escuro a 37°C por 24 h. Após esse período, as endentações foram realizadas nas superfícies topo e base de todos os espécimes utilizando o microdurômetro HMV-2000, Shimadzu Micro Hardness Tester (Shimadzu Corporation, Japan) (Figura 8). Cada espécime foi colocado na matriz de teflon e posicionado centralmente abaixo do penetrador diamantado piramidal tipo Knoop, sendo aplicadas cinco endentações em cada superfície (topo e base) com cargas de 100g por 15 segundos. Inicialmente foi realizada uma

endentação central e, a partir desta, as demais foram feitas em pontos eqüidistantes (aproximadamente 1mm), movimentando-se o espécime para a direita e para a esquerda.

Figura 8 - Microdurômetro utilizado para a avaliação da dureza Knoop

Os espécimes foram armazenados em água destilada em estufa a 37°C por um período de 6 meses e 1 ano e, então, submetidos a um novo teste de microdureza, como previamente descrito. Em cada período avaliado, foram realizadas cinco endentações em cada superfície (topo e base), sendo que as mesmas localizaram-se $\pm 1\text{mm}$ acima (6 meses) e $\pm 1\text{mm}$ abaixo (12 meses) das endentações iniciais (24 horas). O microdurômetro encontra-se acoplado a um computador e a um *software* específico (CAMS-WIN - New Age Industries – USA) que calcula e registra os dados de microdureza.

4.1.4 Análise estatística dos dados de microdureza

Os dados foram inicialmente analisados quanto a sua distribuição e homogeneidade e, como se apresentaram normais e homogêneos, utilizou-se o teste paramétrico de Análise de Variância (ANOVA) a três critérios (superfície, tempo

e distância). Mediante diferenças significativas, o teste de Tukey foi aplicado para comparação das médias, em um nível de significância de 5%.

4.2 Sorção de água e Solubilidade

4.2.1 Delineamento experimental

Os fatores em estudo foram a distância entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície da resina composta em 4 níveis (0 mm, 5 mm, 10 mm e 15 mm). A variável de resposta quantitativa foi sorção e solubilidade.

4.2.2 Confeção dos corpos-de-prova

Para o teste de sorção de água e solubilidade foram confeccionados 32 corpos-de-prova ($n=8$), utilizando-se os mesmos materiais e metodologia descritos para o teste de microdureza.

4.2.3 Teste de sorção de água e solubilidade

Os testes de sorção de água e solubilidade foram realizados de acordo com as especificações da ISO 4049, no entanto com modificação nas dimensões e forma de fotoativação dos espécimes. Após a fotoativação, os espécimes foram removidos do molde e armazenados secos em recipientes escuros, a 37°C por 24 h. Em seguida, os mesmos foram submetidos a um dessecamento inicial para remoção da água livre, como recomendado no teste padrão para materiais resinosos. Para isso, foram colocados no dessecador contendo sílica gel a 37°C por 24 h. Após esse período, os corpos-de-prova foram periodicamente pesados em uma balança analítica de alta precisão (Mettler Toledo, AB204, Switzerland) até a obtenção de uma massa constante (m_1), ou seja, até quando a perda de massa fosse menor ou igual a 0,2 mg dentro de um período de 24 h (Figura 9). O diâmetro e a espessura

iniciais dos espécimes foram então medidos em quatro pontos equidistantes utilizando um paquímetro digital (Mitutoyo, Japan), sendo que tais medidas foram posteriormente utilizadas para calcular o volume em mm^3 .

Figura 9 - Balança analítica de alta precisão utilizada para a pesagem dos espécimes

Em seguida, os espécimes foram armazenados em recipientes individuais contendo água destilada, em estufa a 37°C (Figura 10). A pesagem de cada espécime foi realizada diariamente na 1ª semana e, semanalmente, a partir da 2ª semana de imersão na água, até a obtenção de uma massa constante (m_2). Em cada pesagem, os espécimes foram removidos da água, lavados, secos com papel absorvente, pesados imediatamente em balança analítica de alta precisão e recolocados na água destilada a 37°C . A água dos recipientes referente a cada espécime foi renovada semanalmente. Cuidado foi tomado em relação à padronização da secagem dos corpos-de-prova, os quais foram secos de ambos os lados com papel absorvente, sem pressão. Após 120 dias de armazenamento em água, os espécimes sofreram novo processo de dessecação em um dessecador contendo sílica gel (Figura 11) e foram pesados diariamente até a obtenção de uma massa constante (m_3).

Figura 10 – Armazenamento dos espécimes em água

Figura 11 – Armazenamento dos espécimes em dessecador contendo sílica gel

Os valores de sorção de água (SA) e solubilidade (SL), em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$, foram calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{SA} = \frac{m_2 - m_3}{V} \qquad \text{SL} = \frac{m_1 - m_3}{V}$$

Onde:

m_1 = massa inicial, antes da imersão em água

m_2 = massa após a imersão em água

m_3 = massa após o segundo ciclo de dessecação

V = volume do espécime em mm^3

4.2.4 Análise estatística dos dados de sorção e solubilidade

Como os dados de sorção de água e solubilidade apresentaram-se normais e homogêneos, foram submetidos ao teste de Análise de Variância (ANOVA) a um

critério e ao teste de Tukey para comparações múltiplas, em um nível de significância de 5%.

4.3 Estabilidade de Cor

4.3.1 Delineamento experimental

Os fatores em estudo foram a distância entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície da resina composta em 4 níveis (0 mm, 5 mm, 10 mm e 15 mm), tempo de imersão em 4 níveis (7, 14, 21 e 28 dias) e tipo de solução em 2 níveis (água e suco de uva). A variável de resposta quantitativa foi alteração de cor pelo sistema CIElab.

4.3.2 Confeção dos corpos-de-prova

Para o teste de estabilidade de cor, foram confeccionados 64 corpos-de-prova utilizando-se os mesmos materiais e a metodologia previamente descritos. Para cada grupo experimental (G1- 0 mm, G2- 5 mm, G3- 10 mm e G4- 15 mm) foram confeccionados 16 corpos-de-prova, sendo 8 para o grupo controle (imersão em água) e 8 para a condição experimental (imersão no suco de uva).

Após o acabamento dos espécimes, a superfície inferior (base) foi marcada com uma lâmina de bisturi n.º 12 com o intuito de diferenciá-la da superfície irradiada. Os espécimes foram armazenados secos em frascos escuros por 24 h até a realização do polimento. Após esse período, as superfícies irradiadas foram manualmente polidas na seguinte seqüência: lixa de carbureto de silício de granulação 600 por 30 segundos, lixa de granulação 1200 por 60 segundos e disco de feltro associado a uma suspensão diamantada (Buehler) por 60 segundos. Em seguida, os corpos-de-prova foram lavados em água destilada por 30 segundos,

secos com papel absorvente e acondicionados em frascos escuros devidamente identificados por 24 h até a realização da leitura de cor inicial.

4.3.3 Análise da cor

Para esse teste, foi utilizado o sistema CIEL*a*b*. Esta metodologia se baseia em uma análise por espectrofotômetro com distribuição tridimensional, seguindo padrões pré-determinados: L* a* b* definidos pela CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, 1976).

A leitura de cor inicial foi realizada somente no lado irradiado dos espécimes com um espectrofotômetro de colorimetria portátil (Color Guide 45/0, PCB 6807 BYK-Gardner, Geretsried – Germany), com iluminação padrão D65, sobre um fundo branco (Figura 12). O aparelho efetua a medição de cor baseado no sistema CIELab, o qual avalia a cor do objeto decompondo-a em três variáveis: L- representa o eixo branco (valores +) / preto (valores -), a – eixo vermelho (+) / verde (-) e b- eixo amarelo (+) / azul (-). As diferenças de cor são dadas pelo ΔE , o qual é obtido utilizando-se a seguinte equação:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Onde:

ΔL = diferença na luminosidade

Δa = diferença no parâmetro vermelho-verde

Δb = diferença no parâmetro amarelo-azul

Figura 12 – A: Espectrofotômetro utilizado para a mensuração da cor dos espécimes, B: base utilizada para fixação do espécime durante a leitura

Após a medida da cor inicial, todos os espécimes foram fixados em EVA branco com parafina incolor, mantendo as superfícies irradiadas expostas com o intuito de entrarem em contato com as soluções a serem testadas (Figura 13). Os espécimes foram diariamente submetidos a dois ciclos de 10 minutos de imersão em 100 ml do suco de uva integral (Salton), o qual foi renovado a cada ciclo; sendo que no período remanescente permaneceram imersos em água destilada, renovada diariamente. Esse procedimento foi repetido durante 28 dias. Os espécimes do grupo controle permaneceram em água destilada ao longo de todo o período experimental, a qual também foi renovada diariamente.

Os espécimes foram semanalmente analisados quanto à alteração de cor (7, 14, 21 e 28 dias), da mesma forma descrita para a obtenção dos valores iniciais. Nesta etapa, a secagem dos espécimes foi realizada cuidadosamente com papel absorvente de folha dupla, de maneira padronizada.

Figura 13 – A: Desenho esquemático das perfurações realizadas no EVA branco e fixação dos espécimes; B: vista lateral dos espécimes com a superfície irradiada em contato com a solução.

4.3.4 Análise estatística dos dados de alteração de cor

Na análise estatística, foi conduzido um estudo de suposições que revelou problemas com os dados originais (heterogeneidade de variâncias e escala da variável de resposta). Tais problemas foram solucionados através da transformação para a raiz quadrada dos dados originais, conforme indicado pela técnica de Box-Cox. Os dados foram então submetidos à Análise de Variância a três critérios (distância, tempo de imersão e tipo de solução) e ao teste de Tukey, a um nível de significância de 5%.

As marcações foram realizadas tomando-se como referência o centro do espécime, onde foi feita a primeira endentação. A partir da endentação central, as demais foram feitas movimentando-se o espécime para a direita e para a esquerda.

Foram calculadas as médias aritméticas dos valores de microdureza (KH) obtidos para cada espécime e então para cada grupo experimental. Para cada espécime obtiveram-se dois valores de dureza, um referente à superfície topo e outro à superfície base. Os valores de topo e base também foram comparados.

Os dados foram inicialmente analisados quanto a sua distribuição e homogeneidade através do **Teste de Aderência à Curva Normal e Teste de Homogeneidade (??)**.

Os resultados obtidos para cada variável (sorção de água, solubilidade e coeficiente de difusão da água) serão submetidos à análise de variância a um critério (adesivo). Quando forem detectadas diferenças significativas entre as médias, testes de comparações múltiplas serão aplicados. Todos os testes serão realizados com um nível de significância pré-estabelecido em 5%.

5 Resultados

5 RESULTADOS

5.1 Microdureza

O teste de Análise de Variância a três critérios revelou interação entre os fatores testados (distância, tempo e superfície), demonstrando que qualquer uma das condições avaliadas influenciou significativamente ($p < 0,05$) nos valores de microdureza.

As médias e os desvios padrão de microdureza Knoop dos grupos experimentais referentes à superfície topo, em cada um dos períodos avaliados, estão apresentados na Tabela 2 e na Figura 14.

Tabela 2 - Médias e desvios padrão de microdureza Knoop da superfície topo nos diferentes períodos de avaliação

Distância	24 h	6 meses	12 meses
0 mm	75,9 (2,9) ^{Aa}	71,0 (0,7) ^{Ab}	67,6 (1,3) ^{Ab}
5 mm	76,5 (2,2) ^{Aa}	69,7(0,7) ^{Ab}	66,7 (1,3) ^{Ab}
10 mm	77,5 (2,5) ^{Aa}	65,2 (2,4) ^{Bb}	58,9 (3,3) ^{Bc}
15 mm	70,5 (2,8) ^{Ba}	55,1 (1,0) ^{Cb}	53,1 (0,7) ^{Cb}

*Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

*Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

Figura 14- Representação gráfica das médias de microdureza Knoop da superfície topo nos diferentes períodos de avaliação

Para a descrição da análise estatística, os resultados dos grupos experimentais serão sempre comparados aos do grupo controle (0 mm). De acordo com a Tabela 2 e Figura 14, os maiores valores de microdureza na superfície topo, após 24 h, foram observados quando a fotoativação foi realizada a 0, 5 e 10 mm de distância (75,9; 76,5 e 77,5; respectivamente). O grupo fotoativado a 15 mm apresentou os menores valores de microdureza (70,5), os quais foram estatisticamente inferiores quando comparados aos do grupo controle (0 mm) ($p < 0,05$).

Após 6 meses de armazenamento dos espécimes em água, verificou-se uma redução geral nos valores de microdureza, inclusive do grupo controle (0 mm). As reduções mais acentuadas e estatisticamente significantes foram encontradas nos grupos fotoativados a 10 mm (65,2) e 15 mm (55,1) de distância, quando comparados aos valores observados no grupo controle (71,0) ($p < 0,05$).

Após 12 meses, os valores de microdureza diminuíram em todos os grupos experimentais, independente da distância com que se realizou a fotoativação dos espécimes. Reduções estatisticamente significantes nos valores de microdureza

foram observadas nos grupos fotoativados a 10 mm (58,9) e 15 mm (53,1) de distância, quando comparados ao grupo controle (67,6) ($p < 0,05$).

O grupo fotoativado a 5 mm de distância apresentou comportamento similar ao grupo controle em todos os períodos avaliados.

Considerando-se o fator tempo, foi realizada a análise estatística entre os períodos de armazenamento para cada distância de fotoativação, sendo o período de 24 h utilizado como controle. A variação das médias de microdureza da superfície topo, em cada distância de fotoativação, bem como a análise estatística dos resultados, encontram-se na Tabela 2 e na Figura 15.

*Indica diferença estatisticamente significativa entre 24h e os demais períodos de avaliação para cada distância

Figura 15 – Variações dos resultados dos diferentes grupos experimentais na superfície topo levando-se em consideração o fator tempo

Analisando-se a Figura 15, verificou-se que, após 6 e 12 meses de armazenamento dos espécimes em água, todos os grupos mostraram redução estatisticamente significativa nos valores de microdureza quando comparados ao grupo controle (24 h), independente da distância de fotoativação utilizada ($p < 0,05$).

As médias e os desvios padrão de microdureza Knoop dos grupos experimentais referentes à superfície base, em cada um dos períodos avaliados, encontram-se na Tabela 3 e na Figura 16.

Tabela 3 - Médias e desvios padrão de microdureza Knoop da superfície base nos diferentes períodos de avaliação

Distância	24 h	6 meses	12 meses
0 mm	72,6 (2,2) ^{Aa}	68,4 (0,6) ^{Aa}	52,8 (0,9) ^{Ab}
5 mm	65,2 (2,4) ^{Ba}	64,8 (2,4) ^{Aa}	52,0 (1,1) ^{Ab}
10 mm	58,6 (2,8) ^{Ca}	53,2 (1,5) ^{Bb}	48,8 (3,1) ^{Ac}
15 mm	50,8 (2,1) ^{Da}	46,8 (0,9) ^{Ca}	42,4 (0,5) ^{Bb}

*Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

*Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

Figura 16- Representação gráfica das médias de microdureza Knoop da superfície base nos diferentes períodos de avaliação

De acordo com a Tabela 3 e a Figura 16, os maiores valores de microdureza na base foram observados no grupo fotoativado a 0 mm de distância (72,6), o qual mostrou diferença estatisticamente significativa em relação aos demais grupos experimentais (5 mm = 65,2; 10 mm = 58,6; 15 mm = 50,8), no período de 24h. Após 6 meses, pode-se observar uma diminuição nos valores de microdureza em todos os grupos, sendo que reduções estatisticamente significantes ocorreram nos grupos fotoativados a 10 mm (53,2) e 15 mm de distância (46,8), quando comparadas ao controle (68,4). Não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes entre 0 e 5 mm. Após 12 meses, todos os grupos mostraram reduções ainda mais pronunciadas nos valores de microdureza, sendo que somente o grupo fotoativado a 15 mm apresentou valores estatisticamente inferiores (42,4) ao controle (52,8) ($p < 0,05$).

Analisando-se o fator tempo de armazenamento e considerando-se o período de 24 h como controle, a variação das médias de microdureza da superfície base, em cada distância de fotoativação, encontra-se na Tabela 3 e na Figura 17.

*Indica diferença estatisticamente significativa entre 24h e os demais períodos de avaliação para cada distância

Figura 17 – Variações dos resultados dos diferentes grupos experimentais na superfície base levando-se em consideração o fator tempo*

A Figura 17 mostra que na superfície base, os grupos fotoativados a 0, 5 e 15 mm de distância não apresentaram diferenças estatisticamente significantes em relação ao grupo controle (24 h) após 6 meses de avaliação. No entanto, apenas o grupo fotoativado a 10 mm de distância mostrou decréscimo significativo da dureza aos 6 meses. Após 12 meses, todos os grupos experimentais apresentaram valores de microdureza estatisticamente inferiores aos do grupo controle (24 h) ($p < 0,05$).

A comparação entre as médias de dureza Knoop (KHN) das superfícies topo e base, em cada período avaliado, encontra-se na Tabela 4. Quando comparadas as superfícies topo e base, observou-se que o topo apresentou valores estatisticamente superiores de dureza quando comparado à base na maioria dos grupos experimentais ($p < 0,05$), independente da distância de fotoativação utilizada. No entanto, quando o compósito foi fotoativado a 0 mm de distância, não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre as superfícies topo e base nos períodos de 24 h e 6 meses (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparação entre as médias de dureza Knoop (KHN) das superfícies topo e base para cada distância de fotoativação e período de avaliação testados

Distância	24 h		6 meses		12 meses	
	Topo	Base	Topo	Base	Topo	Base
0 mm	75,9	72,6	71,0	68,4	67,6*	52,8*
5 mm	76,5*	65,2*	69,7*	64,8*	66,7*	52,0*
10 mm	77,5*	58,6*	65,2*	53,2*	58,9*	48,8*
15 mm	70,5*	50,8*	55,1*	46,8*	53,1*	42,4*

*Indica diferença estatisticamente significativa entre as superfícies topo e base

5.2 Sorção de água e Solubilidade

As médias e os desvios padrão dos valores de sorção de água e solubilidade dos grupos experimentais estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Médias e desvios padrão de sorção de água e solubilidade ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$) dos grupos experimentais

Distância	Sorção	Solubilidade
0 mm	29,79 (1,66) ^A	-1,51 (1,33) ^A
5 mm	30,77 (0,76) ^{AB}	-1,00 (1,38) ^A
10 mm	32,29 (1,24) ^B	-0,17 (0,86) ^A
15 mm	37,44 (2,19) ^C	3,68 (1,38) ^B

*Letras diferentes nas colunas indicam diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$)

Para a descrição da análise estatística, os resultados dos grupos experimentais serão sempre comparados aos do grupo controle (0 mm). A Tabela 5 mostra que os maiores valores de sorção de água e solubilidade foram encontrados quando a fotoativação foi realizada a 15 mm de distância (37,44 e 3,68, respectivamente), enquanto que os menores valores foram observados no grupo fotoativado a 0 mm (29,79 e -1,51, respectivamente) ($p < 0,05$).

Analisando-se os valores de sorção de água (Tabela 5), não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os espécimes fotoativados a 0 mm (29,79) e 5 mm (30,77) de distância. No entanto, diferenças significantes foram observadas entre 0 mm (29,79) e 10 mm (32,29) e entre 0 mm (29,79) e 15 mm (37,44) ($p < 0,05$). Pode-se observar que a distância de fotoativação influenciou

negativamente nos valores de sorção obtidos, pois quanto maior a distância entre a ponta do aparelho e a superfície da resina composta, maiores os valores de sorção de água. Em relação à solubilidade (Tabela 5), não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre 0 mm (-1,51) e 5 mm (-1,0), nem entre 0 mm (-1,51) e 10 mm (-0,17). Porém, observou-se significância entre o grupo controle e o grupo fotoativado a 15 mm de distância (3,68) ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que o distanciamento da fonte de luz influenciou negativamente na solubilidade da resina composta utilizada, com valores estatisticamente significantes quando a fotoativação foi realizada a 15 mm de distância.

A Figura 18 mostra a porcentagem de variação da massa dos grupos experimentais durante os processos de sorção de água e solubilidade, em função do tempo de armazenamento.

Figura 18 - Gráfico representativo da porcentagem de variação da massa dos grupos experimentais em função do tempo de armazenamento

Analisando-se a Figura 18, pode-se observar um aumento na massa dos espécimes de todos os grupos experimentais em função do tempo de armazenamento em água, até a sua estabilização. Após o pico de sorção (A), ocorreu uma redução acentuada na massa dos espécimes de todos os grupos até que a mesma se estabilizasse (B). As maiores porcentagens de variação de massa foram encontradas quando a fotoativação foi realizada a 15 mm de distância, enquanto que as menores variações ocorreram no grupo fotoativado a 0 mm (controle).

5.3 Estabilidade de Cor

O teste paramétrico de Análise de Variância (ANOVA) a três critérios revelou a existência de efeito significativo ($p < 0,05$) das interações entre meio e distância e entre meio e tempo, o que exigiu a comparação das médias pelo teste de Tukey.

As médias dos valores de alteração de cor (ΔE) dos grupos experimentais, seus respectivos desvios padrão e a análise estatística dos resultados, em função do meio de imersão utilizado, encontram-se na Tabela 6 e na Figura 19.

Tabela 6- Médias de ΔE^* e desvios padrão dos grupos experimentais em função do meio de imersão

Distância	Meio de imersão	
	Água	Suco de uva
0 mm	0,78 (0,37) ^{ABa}	3,02 (1,19) ^{Ab}
5 mm	0,61 (0,24) ^{Ba}	3,48 (1,40) ^{ABb}
10 mm	0,89 (0,43) ^{ABa}	3,67 (1,18) ^{Ab}
15 mm	0,96 (0,40) ^{Aa}	4,05 (1,39) ^{Bb}

*Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

*Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

Figura 19- Representação gráfica dos valores médios de ΔE da interação dos fatores distância de fotoativação x meio de imersão

Para a descrição da análise estatística, os resultados dos grupos experimentais serão sempre comparados aos do grupo controle (0 mm). Analisando-se a Tabela 6 e a Figura 19, pode-se observar que a distância de fotoativação influenciou na estabilidade de cor da resina composta, independente do meio de imersão utilizado (água ou suco). Os espécimes imersos em água não mostraram diferenças estatisticamente significantes quando as distâncias de 5, 10 e 15 mm (0,61; 0,89; 0,96, respectivamente) foram comparadas a 0 mm (0,78). A imersão no suco de uva também não revelou diferenças significativas quando os grupos fotoativados a 5 mm (3,48) e 10 mm (3,67) de distância foram comparados ao grupo controle (3,02). No entanto, diferenças estatisticamente significantes na alteração de cor do compósito foram encontradas entre os grupos fotoativados a 0 mm (3,02) e 15 mm (4,05) de distância ($p < 0,05$).

Comparando-se os meios de imersão (Tabela 6 e Figura 19), pode-se verificar que o suco de uva causou estatisticamente maior alteração na cor da resina

composta (ΔE) quando comparado com a água, independente da distância de fotoativação utilizada ($p < 0,05$).

As médias dos valores de alteração de cor (ΔE) dos grupos experimentais, seus respectivos desvios padrão e a análise estatística da interação tempo x meio de imersão, encontram-se na Tabela 7 e na Figura 20.

Tabela 7- Médias de ΔE^* e desvios padrão dos grupos experimentais em função do tempo e do meio de imersão

Tempo	Meio de imersão	
	Água	Suco de uva
7 dias	0,77 (0,36) ^{Aa}	2,19 (0,69) ^{Ab}
14 dias	0,79 (0,39) ^{Aa}	2,89 (0,73) ^{Bb}
21 dias	0,85 (0,41) ^{Aa}	4,16 (0,84) ^{Cb}
28 dias	0,84 (0,39) ^{Aa}	4,99 (0,82) ^{Db}

*Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

*Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significantes ($p < 0,05$)

Figura 20- Representação gráfica dos valores médios de ΔE da interação dos fatores tempo de imersão x meio de imersão

Em relação ao tempo de armazenamento dos espécimes (Tabela 7 e Figura 20), não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os períodos de imersão quando o compósito foi imerso em água ($p < 0,05$). No entanto, o tempo de imersão influenciou significativamente na estabilidade de cor da resina composta quando imersa no suco de uva, revelando que quanto maior o tempo de armazenamento, maior a alteração de cor do material ($p < 0,05$). Todos os períodos avaliados mostraram alteração de cor estatisticamente significativa quando comparados à avaliação inicial.

Quando os meios de imersão foram comparados (Tabela 7 e Figura 20), verificou-se que o suco de uva causou significante maior alteração de cor da resina composta (ΔE) quando comparado à água, independente do período de imersão avaliado ($p < 0,05$).

6 Discussão

6 DISCUSSÃO

A distância entre a ponteira do aparelho fotoativador e a superfície do compósito resinoso a ser polimerizado é um importante fator clínico a ser considerado, uma vez que variações dessa distância podem comprometer a efetividade de polimerização (AGUIAR et al., 2005; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a; LINDBERG et al., 2005; CORCIOLANI et al., 2008; MOON et al., 2004; THOMÉ et al., 2007; PIRES et al., 1993; RODE et al., 2007; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; ARAVAMUDHAN et al., 2006; PRICE et al., 2004). Vários autores têm mostrado que a inadequada polimerização dos compósitos é uma das principais causas de insucesso clínico, podendo refletir diretamente em suas propriedades físico-mecânicas (PEARSON; LONGMAN, 1989; IMAZATO et al., 1995; NEVES et al., 2005; RODE et al., 2007; FERRACANE; GREENER, 1986; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005; HERBSTTRITH SEGUNDO et al., 2007).

Sabe-se que o processo de polimerização desencadeia a formação de uma série de cadeias poliméricas que decorrem da quebra das duplas ligações de carbono formando, assim, radicais prontos para fazer novas ligações com outros monômeros (RUEGGEBERG, 1999). No entanto, a completa polimerização das resinas compostas não é conseguida e seu grau de conversão é limitado (50 a 70% em média) (IMAZATO, 2001; PALIN et al., 2003). Isto ocorre porque a mobilidade das cadeias poliméricas torna-se progressivamente mais restrita devido ao alto peso molecular das mesmas, ao aumento na viscosidade e a redução no volume livre (RUEGGEBERG, 1999; D'ALPINO et al., 2007; NEVES et al., 2005). Portanto, quanto maior a porcentagem de duplas ligações de carbono que são convertidas em

ligações simples, durante a reação de polimerização, maior o grau de conversão e melhores as propriedades do compósito (GUIMARÃES et al., 2008; PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005; HAMMESFAHR et al., 2002; YOON et al. 2002; NEVES et al., 2002; FERRACANE; GREENER, 1986).

6.1 Microdureza

A literatura tem mostrado que há correlação entre grau de conversão e microdureza (RODE et al., 2007; NEVES et al., 2002). Rode et al. (2007) avaliaram a qualidade de polimerização através do grau de conversão de compósitos em espectroscopia de raios infravermelho (Raman) e verificaram que resinas compostas com maior grau de conversão apresentaram maiores valores de dureza. No entanto, a análise da microdureza não pode ser utilizada para prever o grau de conversão quando diferentes materiais são comparados (FERRACANE, 1985), já que variáveis na composição da resina como tipo, concentração de carga e estrutura da matriz poderiam interferir nos resultados de dureza Knoop (ELIADES et al., 1987; FERRACANE, 1985). Por isso, optou-se pela utilização de uma única resina composta no presente estudo. Neste sentido, o teste de dureza pode ser utilizado para a avaliação indireta do grau de polimerização dos compósitos (RODE et al., 2007; MOORE et al., 2008, ABATE et al., 2001; NEVES et al., 2002; PIRES et al., 1993) e apresenta vantagens como facilidade de preparação do espécime, disponibilidade de equipamento e domínio geral da metodologia.

Quando se avalia o grau de polimerização de um compósito, diversos fatores relacionados às características dos materiais (SCHULZE et al., 2003; HUBBEZOGLU et al., 2007; THOMÉ et al., 2007) e à fonte de luz (LINDBERG et al.,

2005; TATE et al., 1999, ARAÚJO et al., 2008; ABATE et al., 2001; AGUIAR et al., 2005; VANDEWALLE et al., 2008; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a; LINDBERG et al., 2005; CORCIOLANI et al., 2008; MOON et al., 2004; THOMÉ et al., 2007; PIRES et al., 1993; SANTOS et al., 2000; RODE et al., 2007; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; LELOUP et al., 2002; ARAVAMUDHAN et al., 2006; PRICE et al., 2004) devem ser considerados. Dentre esses fatores, a distância existente entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície do compósito tem mostrado interferir diretamente na intensidade de luz que atinge o material e, conseqüentemente, na profundidade de polimerização, no grau de conversão e na microdureza (PIRES et al., 1993; FELIX; PRICE, 2003; ARAVAMUDHAN et al., 2006; CORCIOLANI et al., 2008; THOMÉ et al., 2007; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; RISSI; CABRAL, 2002; RODE et al., 2007; AGUIAR et al., 2008).

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, observou-se que o aumento da distância entre a ponta do aparelho fotoativador e a superfície da resina composta causou diminuição dos valores de microdureza, tanto no topo quanto na base, rejeitando-se a hipótese 1. De maneira geral, os maiores e os menores valores de microdureza foram observados quando a fotoativação foi realizada a 0 mm e 15 mm de distância, respectivamente, independente do tempo de armazenamento e da superfície avaliada (Tabelas 2 e 3).

Considerando que os valores de dureza na superfície topo da resina composta podem não ser correspondentes à dureza encontrada na base da restauração (PRICE et al., 2004; SOH et al., 2003), optou-se pela avaliação da microdureza em ambas as superfícies. Quando avaliada a superfície topo, 24 h após a fotoativação do compósito, foram observados valores estatisticamente menores de

microdureza para 15 mm de distância quando comparado ao grupo controle (0 mm) (Tabela 2). Vários trabalhos têm mostrado que o aumento da distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta influencia negativamente os valores de microdureza (CORRER SOBRINHO et al., 2000; RODE et al., 2007; MOORE et al., 2008, THOMÉ et al., 2007; PIRES et al., 1993; HANSEN; ASMUSSEN, 1997), no entanto, alguns autores não encontraram diferença na dureza da superfície topo quando utilizadas as mesmas distâncias do presente estudo (ABATE et al., 2001) ou distâncias não superiores a 12 mm (AGUIAR et al., 2005; AGUIAR et al., 2008; PIRES et al., 1993). Na superfície base, foi observada redução dos valores de dureza Knoop quando comparados aos valores encontrados no topo em todos os grupos experimentais, incluindo o grupo controle (0 mm). Após 24 horas, valores significativamente menores de dureza foram encontrados nos grupos fotoativados a 5, 10 e 15 mm de distância quando comparados a 0 mm (Tabela 3). Esses resultados corroboram com outros estudos (ARAVAMUDHAN et al., 2006; CICCONE-NOGUEIRA et al., 2007; PIRES et al., 1993; LINDBERG et al., 2005; AGUIAR et al., 2008; THOMÉ et al., 2007; HANSEN; ASMUSSEN, 1997; CORRER-SOBRINHO et al., 2000; ARAÚJO et al., 2008), os quais mostraram que a polimerização do compósito depende da distância de fotoativação utilizada, uma vez que a intensidade de luz diminui à medida que aumenta essa distância. Esse fato pode ser comprovado mediante a redução dos valores de dureza na superfície base dos espécimes, o que demonstra uma diminuição na profundidade de polimerização do material (PIRES et al., 1993; AGUIAR et al., 2005; HANSEN; ASMUSSEN, 1997, CORCIOLANI et al., 2008; ARAVAMUDHAN et al., 2006; LINDBERG et al., 2005; THOMÉ et al., 2007; RODE et al., 2001).

Tem sido mostrado que a energia luminosa emitida pelos aparelhos fotoativadores pode ser dispersa “através do ar”, havendo como consequência uma perda na densidade de potência. Pires et al. (1993) mostraram que a 12 mm de distância a intensidade de luz foi reduzida de 528 mW/cm² (100%) para 103 mW/cm² (19,5%). Felix e Price (2003) investigaram como a intensidade de luz varia em função do distanciamento da fonte de luz e mostraram que a energia luminosa se dispersa rapidamente a partir da ponta do aparelho fotoativador, podendo não ser suficiente para polimerizar o compósito na região mais profunda do preparo. Estes autores comentaram que se a ponta do aparelho estiver a 3 mm de distância da superfície do dente, o sistema adesivo ou a resina composta aplicados em preparos profundos poderão estar a uma distância de 10 mm, sugerindo que uma baixa densidade de potência alcança a parede de fundo da cavidade. Os mesmos autores observaram que a 6 mm de distância, a maioria das fontes de luz testadas perdeu cerca de 50% da intensidade de luz inicial, enquanto que a 10 mm alguns aparelhos perderam cerca de 80%. Isto demonstra que a dispersão da energia luminosa pode ser a principal responsável pelas mudanças ocorridas na profundidade de polimerização (LINDBERG et al., 2005; FELIX; PRICE, 2003; SOW et al., 2003). No presente estudo, a redução na densidade de potência pode ter sido drástica a 15 mm de distância, a ponto de levar à inadequada polimerização do compósito e, conseqüentemente, a valores significativamente menores de dureza na superfície topo, quando comparada à fotoativação realizada em contato direto com a resina composta (0 mm). Na superfície base, a distância de fotoativação existente até a superfície da resina composta, associada à sua espessura, provavelmente

resultaram na maior queda da densidade de potência e em valores estatisticamente menores de dureza para todas as distâncias testadas.

É importante ressaltar que a densidade de potência da fonte de luz utilizada neste estudo foi de 640 mW/cm^2 . Considerando que existe uma queda de cerca de 50% na densidade de potência a 6 mm de distância (PRICE et al., 2000), supõe-se que uma densidade em torno de 320 mW/cm^2 alcançou a superfície do material quando a fonte de luz foi posicionada a 5 mm do topo do espécime.

Alguns autores têm mostrado que a densidade de potência influencia a velocidade com que os compósitos polimerizam (taxa de polimerização) e, conseqüentemente, na qualidade do polímero formado (LOVELL et al., 2001; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a). Asmussen e Peutzfeldt (2003a) mostraram que quanto maior a distância de irradiação, menor a densidade de potência que alcança a superfície do material e menor a velocidade de polimerização, levando à formação de cadeias poliméricas com menor quantidade de ligações cruzadas (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a). Com isso, haverá um maior espaço para as moléculas do solvente difundirem-se no interior da rede polimérica (FERRACANE, 2006), tornando o polímero mais suscetível ao efeito plastificador exercido pela água, o que pode resultar na redução dos valores de dureza. Segundo Ferracane (1985), as propriedades mecânicas dos compósitos são dependentes da densidade de ligações cruzadas e da qualidade da rede polimérica formada durante a polimerização.

De forma geral, pôde-se também observar que a superfície topo mostrou valores de microdureza significativamente superiores aos encontrados na base em todos os grupos experimentais, independente do período de avaliação (exceto para 0 mm de distância após 24 h e 6 meses) (Tabela 4), rejeitando-se, assim, a hipótese

2. Os resultados indicaram que a superfície topo é menos afetada pela distância entre a ponta do aparelho e a superfície do compósito, pois a intensidade de luz que alcança essa superfície tem se mostrado adequada para uma eficiente polimerização do material (AGUIAR et al., 2008; SOH et al., 2003; CAVALCANTE et al., 2003; AGUIAR et al., 2005). Isto foi confirmado por Leloup et al. (2002), que avaliaram a influência do distanciamento da fonte de luz e não encontraram efeito no grau de conversão em espécimes de 2,5 mm de espessura em distâncias de até 10 mm. Portanto, observa-se que existe uma relação entre distância de irradiação e efetividade de polimerização (PIRES et al., 1993). Os maiores valores de dureza encontrados na superfície topo podem ser explicados pelo fato da energia luminosa excitar facilmente essa superfície, pois esta se mostra suficiente para alcançar e ativar o fotoiniciador, iniciando o processo de polimerização, uma vez que há um mínimo de atenuação da luz (RUEGGEBERG, 1999). A exposição contínua à luz mantém a ativação das moléculas de canforoquinona próximas à superfície, levando-as a um estado energético que favorece o desencadeamento da reação de polimerização (RUEGGEBERG, 1999). Os resultados desse trabalho são concordantes com outros autores, os quais enfatizaram que a superfície topo depende menos da intensidade de luz que a superfície base quando avaliados os valores de dureza (AGUIAR et al., 2005; PIRES et al., 1993).

Como confirmado pelos resultados do presente estudo, a polimerização dos compósitos não é uniforme da superfície mais próxima à fonte de luz fotoativadora em direção à profundidade do material. Nas camadas mais profundas, a atenuação da energia luminosa resulta em uma menor quantidade de moléculas de canforoquinona excitadas com redução drástica da possibilidade de colisão com a

amina terciária (RUEGGERBERG, 1999; EMAMI; SÖDERHOLM, 2003). Isto ocorre porque, durante a fotoativação, a quantidade de energia luminosa disponível para excitar as moléculas do fotoiniciador diminui drasticamente devido à absorção e espalhamento dessa energia pelas partículas de carga do compósito (HUBBEZOGLU et al., 2007; RUEGGERBERG, 1999) diminuindo, assim, a efetividade de polimerização. A influência das partículas de carga sobre o grau de conversão pode ser dúbia: na superfície espalham a luz e favorecem a polimerização; na profundidade podem diminuir o grau de polimerização justamente pelo efeito de dispersão da luz (ELIADES et al., 1987).

Foi possível observar que a irradiação dos espécimes a 5, 10 e 15 mm de distância provavelmente não foi suficiente para polimerizar adequadamente a base da resina composta, o que corrobora com outros autores os quais mostraram que distâncias superiores a 5 mm resultaram em profundidade de polimerização significativamente menor (CORCIOLANI et al., 2008). Na base do compósito, além da distância de fotoativação, a porcentagem de conversão também pode ser reduzida por fatores como espessura do incremento e cor da resina composta (AGUIAR et al., 2005; AGUIAR et al., 2008). Como esses fatores foram padronizados no presente trabalho, acredita-se que, com o aumento na profundidade do compósito, parte da energia luminosa foi espalhada, absorvida ou sua passagem foi dificultada pelas partículas de carga do material (HUBBEZOGLU et al., 2007; RUEGGERBERG, 1999).

Os maiores valores de microdureza Knoop observados na superfície topo também sugerem que diferenças são encontradas na estrutura da rede polimérica formada, quando comparada à superfície base. Isto ocorre porque a atenuação da energia luminosa na base resulta em uma menor quantidade de moléculas de

canforoquinona excitadas (RUEGGERBERG, 1999) e a polimerização em uma menor velocidade pode levar à formação de cadeias poliméricas mais extensas e lineares, porque relativamente poucos centros de crescimento são formados (ASMUSSEN, PEUTZFELDT, 2003b; SOH; YAP, 2004). Isso torna o polímero mais suscetível à plastificação pelo solvente (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003b; SOH; YAP, 2004) e, conseqüentemente, menores valores de dureza são encontrados na base da resina composta. O mesmo grau de conversão pode ser encontrado nas regiões superficial e profunda do compósito (YAP et al., 2004), mas a qualidade da rede polimérica parece ser um fator essencial para a obtenção de melhores propriedades do material (SOH; YAP, 2004).

Este trabalho mostrou que um dos maiores problemas associados com a fotoativação dos compósitos é a profundidade de polimerização limitada nas regiões mais profundas da restauração. A literatura tem mostrado que a distância entre a ponta do aparelho fotoativador e a parede gengival de preparos Classe II em molares freqüentemente é de 6 a 8 mm, resultando em aproximadamente 50% de redução na densidade de potência (PRICE et al., 2000; PIRES et al. 1993; HANSEN; ASMUSSEN, 1997). Assim, considerando que a ponta do aparelho geralmente se apóia na margem oclusal do preparo, aproximadamente 7 mm seria a distância clinicamente relevante entre a ponta da fonte de luz e o primeiro incremento de resina composta inserido na caixa proximal. Segundo Ernst et al. (2004), distâncias de fotoativação superiores a 6 mm podem causar reduções significantes na qualidade de polimerização da resina composta. Clinicamente, a distância recomendada entre a ponta do aparelho e a superfície da resina é de 1 mm, no entanto, esta dificilmente é controlada, como no caso da parede gengival de

preparos Classe II (THOMÉ et al., 2007). A distância de fotoativação deve ser o mais próxima possível e, quando esta proximidade não for viável, o clínico deve utilizar outros recursos que permitam a adequada polimerização do material. Para compensar a redução da intensidade de luz pelo aumento da distância de fotoativação, o ideal seria aumentar o tempo de irradiação, o que auxiliaria o fornecimento de um nível constante de energia necessária para polimerizar a resina composta (ARAVAMUDHAN et al., 2006; PIRES et al., 1993).

Com o intuito de minimizar os problemas clínicos decorrentes da qualidade de polimerização dos incrementos de resina composta inseridos nas regiões mais profundas dos preparos cavitários, recomenda-se também a redução na espessura do primeiro incremento para assegurar sua adequada polimerização (CORCIOLANI et al., 2008). Além disso, o aumento da densidade de potência e a utilização de matrizes transparentes são outras estratégias relatadas como minimizadoras dos problemas relacionados ao aumento da distância de fotoativação (PIRES et al., 1993).

Os resultados também revelaram que, em todos os grupos, houve uma redução nos valores de microdureza das superfícies topo e base em função do tempo de armazenamento em água (Figuras 15 e 17), independente da distância de fotoativação utilizada. Sendo assim, a hipótese 3 deve ser rejeitada. Autores como Badra et al. (2005) também encontraram diminuição dos valores de microdureza de diferentes resinas compostas em função do tempo de armazenamento dos espécimes em água. Após 6 meses, os valores de microdureza do presente estudo foram estatisticamente menores nas superfícies topo e base quando os espécimes foram fotoativados a 10 mm e 15 mm de distância, em comparação a 0 mm (Tabelas 2 e 3). Após 12 meses, os valores de microdureza das superfícies topo e base foram

ainda menores para os grupos de 10 e 15 mm, incluindo também os obtidos no grupo fotoativado a 0 mm. No entanto, na superfície base, diferença significativa ocorreu somente entre os grupos fotoativados a 0 mm e 15 mm, o que certamente pode ser explicado pela redução nos valores de microdureza do grupo controle.

Analisando-se o fator tempo de armazenamento na superfície topo (Figura 15), o grupo controle (0 mm) mostrou redução significativa dos valores de dureza em relação a 24 h: de 75,9 para 71 após 6 meses (7,1%) e para 67,6 após 12 meses (11%). Estas constatações estatísticas se repetiram nos demais grupos experimentais. No grupo fotoativado a 15 mm, os valores de dureza variaram de 70,5 (24 h) para 55,1 (6 meses) e para 53,1 (12 meses). Estas reduções foram de 21% após 6 meses e de 24,7% após 12 meses. Pode-se observar que em todas as distâncias, houve redução significativa dos valores de microdureza da superfície topo após 6 e 12 meses, quando comparados aos encontrados após 24 h. Na superfície base (Figura 17), as reduções na microdureza foram ainda mais pronunciadas. Após 6 meses, os valores do grupo controle passaram de 72,6 para 68,4 (5,8%) e para 52,8 após 12 meses (27%). No grupo fotoativado a 15 mm, os valores reduziram-se 7,9% (de 50,8 para 46,8) após 6 meses e 16,5% (de 50,8 para 42,4) após 12 meses. Porém, a análise estatística mostrou que, na maioria dos grupos, não houve diferença significativa quando os valores após 6 meses foram comparados aos encontrados após 24 horas. Por outro lado, após 12 meses, todos os grupos mostraram diferenças estatisticamente significantes nos valores de dureza quando comparados aos observados após 24h.

Por esses resultados, acredita-se que a dureza da resina composta é afetada pela sorção de água ocorrida durante o período de armazenamento. A redução nos

valores de microdureza após a imersão em água, principalmente nos grupos fotoativados a 10 e 15 mm, corrobora com outros achados publicados na literatura, os quais mostraram que a dureza dos compósitos é significativamente afetada pela sorção de água e pelo tempo de armazenamento em meio aquoso (YAP et al., 2001; FERRACANE et al., 1998). Ferracane, Berge e Condon (1998) mostraram que a dureza da maioria dos compósitos foi reduzida após 6 meses de armazenamento em água, demonstrando que a mesma agiu como uma molécula plastificadora no interior da matriz. No entanto, o efeito no polímero é limitado quando a rede polimérica apresenta grande quantidade de ligações cruzadas, tornando-se difícil de intumescer e incorporar moléculas de água adicionais. Se a água produz uma degradação significativa nas partículas ou na interface carga-matriz, pode-se esperar que a dureza do compósito reduzir-se-á continuamente ao longo do tempo. Assim, especula-se que a menor quantidade de ligações cruzadas formadas nos grupos fotoativados a 10 e 15 mm de distância tornou o compósito mais suscetível à ação da água, reduzindo os valores de dureza conforme o tempo de armazenamento. Acredita-se que o tempo de armazenamento foi longo o suficiente para quebrar ou modificar a rede polimérica a uma extensão que refletiu na propriedade de microdureza. Com isso, confirma-se a interação existente entre distância de fotoativação e tempo de armazenamento.

Os resultados de microdureza mostraram que a distância de fotoativação e o tempo de armazenamento dos espécimes em água influenciaram de forma significativa na dureza da resina composta utilizada.

6.2 Sorção de água e Solubilidade

A sorção e a solubilidade podem ser afetadas por diferentes fatores, como variações na composição e hidrofiliabilidade da matriz resinosa, tamanho e distribuição das partículas de carga (JANDA et al., 2007a; ÖRTENGREN et al., 2001a; ÖRTENGREN et al., 2001b; KALACHANDRA; WILSON, 1992; HOFMANN et al., 2002; SIDERIDOU et al., 2003; SILVA et al., 2008; TOLEDANO et al., 2003; ARCEGAS et al., 2008, MALACARNE et al., 2006) e forma de polimerização utilizada (GUIMARÃES et al., 2008; PEARSON; LONGMAN, 1989; HOFFMANN et al., 2002; SOH;YAP, 2004). Vários estudos têm mostrado que a sorção de água é altamente dependente do material (MALACARNE et al., 2006; JANDA et al., 2007a) e correlação significativa tem sido encontrada entre sorção e partículas de carga/matriz resinosa (JANDA et al., 2007a). No presente trabalho foi utilizada uma única resina composta e, por isso, acredita-se que os resultados de sorção de água e solubilidade obtidos estejam relacionados ao grau de polimerização do compósito, uma vez que diferentes distâncias de fotoativação foram testadas.

De acordo com a norma 4049 da ISO, para que as resinas compostas sejam indicadas como materiais restauradores, devem apresentar sorção de água menor que $40 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ e solubilidade menor que $7,5 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ para um período de armazenamento de 7 dias. Os valores tanto de sorção como de solubilidade obtidos neste estudo foram inferiores aos referidos pela ISO (Tabela 5), mesmo para um período de armazenamento de 120 dias em água. Os espécimes foram mantidos quatro meses em água, uma vez que mostraram aumento da massa em função do tempo de armazenamento (Figura 18), o que sugere que 7 dias não são suficientes para avaliar os verdadeiros valores de sorção de água para materiais resinosos.

A hipótese 4 deve ser rejeitada, pois os resultados mostraram que a distância entre a ponta da fonte de luz e a superfície da resina composta pode influenciar negativamente a sorção de água da resina composta Filtek Z-250. Os grupos fotoativados a 10 mm e 15 mm de distância apresentaram valores de sorção estatisticamente superiores ao grupo controle (0 mm), enquanto que diferenças não foram encontradas quando a fotoativação foi realizada a 5 mm (Tabela 5).

Os resultados enfatizaram que distâncias iguais ou superiores a 10 mm influenciaram de forma significativa os valores de sorção de água. Este resultado pode ser explicado pela estrutura da rede polimérica formada (FERRACANE, 2006) e pela teoria do volume livre (SIDERIDOU et al., 2003). Nos compósitos à base de dimetacrilato, as moléculas de água absorvidas se difundem através da rede polimérica e são aprisionadas nos nanoespaços 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). Desta forma, a qualidade da rede formada durante a polimerização irá dizer, em qual extensão, quais moléculas poderão ser absorvidas e o quanto intumescido ficará o polímero quando imerso em um solvente (FERRACANE, 2006).

Considerando que a estrutura da rede polimérica formada influencia a quantidade de água a ser absorvida (SILVA et al., 2008; FERRACANE, 2006), pode ser especulado que a menor densidade de potência que atingiu a superfície da resina composta fotoativada a 10 e 15 mm de distância levou à formação de uma rede polimérica com baixa densidade de ligações cruzadas (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 frente 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. A suposta menor quantidade de ligações cruzadas existentes nos grupos fotoativados a 10 e 15 mm resultou em um maior grau de intumescimento do material (SOH; YAP, 2004; ÖRTENGREN et al., 2001a; EL-HEJAZI, 2001) pela maior sorção de água observada nestes grupos. Acredita-se que a água causou um efeito plastificador na rede polimérica, resultando no amolecimento do compósito a curto prazo. Isto pode ser confirmado pela redução dos valores de microdureza obtidos nesses mesmos grupos após 6 e 12 meses de armazenamento em água. Por outro lado, a maior densidade de potência que atingiu o compósito quando fotoativado a 0 e 5 mm de distância propiciou um maior grau de polimerização, o que resultou na formação de múltiplos centros de crescimento e em estruturas mais ramificadas e com ligações cruzadas (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001a; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2001b; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003b), sendo menos suscetíveis à sorção e degradação pela água (SOH, YAP; 2004). Isto também pode ser confirmado pelos resultados de microdureza, pois o grupo fotoativado a 5 mm apresentou comportamento similar ao grupo controle (0 mm) em todos os períodos avaliados (24 h, 6 meses e 12 meses).

A redução da dureza ocorre em função da separação das cadeias poliméricas por moléculas que não formam ligações primárias entre si, mas apenas ocupam espaço entre as cadeias. Deste modo, o polímero não é dissolvido, mas intumescce

pelo contato com o solvente, pois as forças de atração entre as cadeias poliméricas são excedidas pelas forças existentes entre as moléculas do solvente e os componentes das cadeias (FERRACANE, 2006). Então, há uma troca de ligações secundárias levando ao aumento no volume da rede e potencialmente ao amolecimento devido à redução das forças friccionais entre as cadeias poliméricas (FERRACANE et al., 1998), aumentando, assim, a plastificação do material (FERRACANE, 2006). Conseqüentemente, ocorre uma redução nas propriedades físico-mecânicas da resina composta. Alguns estudos têm mostrado significativa redução nas propriedades mecânicas dos compósitos quando imersos em água por diferentes períodos (FERRACANE et al., 1998; KALACHANDRA; WILSON, 1992; ITO et al., 2005).

A água absorvida pela matriz polimérica tende a acumular-se, ao longo do tempo, na interface carga-matriz resinosa (KALACHANDRA; WILSON, 1992), provocando a perda da união entre elas ou até mesmo a degradação hidrolítica das partículas (SÖDERHOLM et al., 1984; BAGHERI et al., 2005). Segundo Söderholm (1983), o intumescimento que ocorre nos compósitos pela sorção de água pode induzir a formação de tensões ao redor das partículas inorgânicas silanizadas, as quais tornam-se então mais suscetíveis ao ataque hidrolítico, resultando na liberação parcial ou completa das partículas da matriz orgânica do material restaurador, criando assim sítios de degradação (SÖDERHOLM, 1983). No entanto, variações na taxa de sorção de água dependem da natureza das partículas de carga e também do método de polimerização utilizado (KALACHANDRA; WILSON, 1992; SILVA et al., 2008).

A extensão de sorção do solvente pelo polímero ocorre em função das diferenças no parâmetro de solubilidade entre o polímero e o solvente, sendo maior

a sorção quanto menor esta diferença (FERRACANE, 2006). Assim, a composição química do solvente no qual o polímero será imerso é importante para a avaliação da influência do solvente sobre o polímero. Apesar de muitos estudos utilizarem o etanol como solvente para simular um envelhecimento acelerado das restaurações (LOPES et al., 2009; SOH; YAP, 2004; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003; WITZEL et al., 2005) e por ter um parâmetro de solubilidade similar ao do BisGMA, optou-se, no presente estudo, pela utilização da água destilada, por ser o solvente recomendado pela ISO para materiais resinosos. Alguns autores utilizam saliva artificial como meio de imersão (BADRA et al., 2005), mas espécimes imersos em água ou saliva artificial têm mostrado comportamentos similares quanto às propriedades mecânicas quando diferentes compósitos são avaliados (ILIE; HICKEL, 2009).

Mediante uma elevada sorção de água, as cadeias poliméricas passam por um processo de relaxamento à medida que elas intumescem para absorver água. Inicialmente, a presença de água amolece o polímero pelo intumescimento da rede, levando à redução das forças friccionais entre as cadeias poliméricas (FERRACANE et al., 1998). Após o processo de relaxamento, componentes não reagidos aprisionados na rede polimérica são liberados (MALACARNE et al., 2006).

No presente estudo, somente o grupo fotoativado a 15 mm de distância apresentou valores estatisticamente superiores de solubilidade quando comparado ao grupo controle (0 mm) (Tabela 5). Assim, a hipótese 5 que não haveria diferença nos valores de solubilidade quando utilizadas diferentes distâncias de fotoativação deve ser rejeitada.

A solubilidade das resinas compostas reflete a quantidade de monômeros não reagidos liberados na água (SIDERIDOU; ACHILIAS, 2005), bem como moléculas de baixo peso, como partículas de carga (SÖDERHOLM et al., 1996.) e fotoiniciadores (SCHNEIDER et al., 2008). Segundo Ferracane (2006), qualquer componente presente no compósito é capaz de ser liberado do material. A possível causa para a maior solubilidade da resina composta quando utilizado 15 mm de distância provavelmente está relacionada ao grau de conversão do material, pois alguns autores afirmaram que quanto maior o grau de conversão, menores os valores de solubilidade das resinas compostas (SIDERIDOU et al., 2003; SILVA et al., 2008; ZHANG; XU 2008). No entanto, o grau de conversão somente pode ser utilizado como um indicador da lixiviação quando forem comparados tratamentos com a mesma resina composta (SIDERIDOU; ARCHILIAS, 2005), como realizado nesse trabalho. Considerando que a quantidade de monômeros liberados das resinas compostas é influenciada pela densidade de potência da fonte de luz (TABATABAEE et al., 2009), pode-se concluir que a maior solubilidade observada no grupo fotoativado a 15 mm pode ser atribuída ao menor grau de conversão do material pela insuficiente densidade de potência que atingiu o compósito.

Os monômeros não reagidos são os principais componentes liberados das resinas compostas, sendo a maioria liberada nos primeiros dias (ÖRTENGREN et al., 2001a). O monômero TEGDMA tem sido identificado como a principal substância liberada das resinas compostas por apresentar moléculas pequenas, porém, pequenas quantidades de outros monômeros, tais como o Bis-GMA e o UDMA, presentes na resina composta utilizada neste estudo, podem também ser liberados na água (ÖRTENGREN et al., 2001a; TABATABAEE et al., 2009). Sideridou e Archilias (2005) observaram que a maioria dos monômeros liberados da Filtek Z-250

foi o UDMA, o que indica que a matriz resinosa desse compósito provavelmente contém maiores quantidades de UDMA que de Bis-GMA e Bis-EMA. A natureza e a rigidez da molécula de Bis-GMA, em adição ao seu alto peso molecular e baixa solubilidade, parecem prevenir sua difusão em ambiente aquoso (SIDERIDOU; ACHILIAS, 2005). O aumento da lixiviação observado com o tempo de armazenamento indica que a água se difunde através da resina e reage com a carga na interface carga-matriz. Este processo de difusão requer tempo, podendo levar ao atraso no processo de solubilidade (SÖDERHOLM et al., 1984).

Valores negativos de solubilidade foram detectados nos grupos fotoativados a 0, 5 e 10 mm (Tabela 5), o que pode indicar que a resina composta foi mais suscetível à sorção de água, levando ao ganho de massa, mascarando sua real solubilidade (LOPES et al., 2009). Não significa que nenhuma solubilidade ocorreu, mas que a sorção de água foi maior que a solubilidade, pois a massa final foi maior que a inicial. Acredita-se que algumas moléculas de água, as quais se aderem às cadeias poliméricas via pontes de hidrogênio, permaneceram firmemente aderidas aos sítios polares ao longo da rede polimérica (MALACARNE et al., 2006), impedindo a total remoção deste solvente após o processo de dessecação.

No presente estudo, pode-se também observar que ocorreu aumento da massa em função do tempo de armazenamento (ZHANG; XU, 2008; ÖRTENGREN, 2001a) em todos os grupos experimentais (G1- 1,21%, G2- 1,24%; G3- 1,27%, G4- 1,31%). De acordo com a Figura 18, os resultados deste trabalho revelaram um rápido aumento da massa nos primeiros 7 dias de armazenamento em água para todos os grupos testados, independente da distância de fotoativação utilizada. No entanto, observou-se uma redução na taxa de sorção conforme o tempo de

armazenamento até atingir o equilíbrio, concordando com outros autores (ÖRTENGREN et al., 2001a). Em todos os grupos experimentais, a resina composta atingiu o equilíbrio entre 90 e 120 dias de armazenamento em água, concordando com os resultados de Örtengren et al. (2001a), os quais mostraram que a maioria dos compósitos alcançou saturação entre 60 e 180 dias.

Essa saturação acontece porque o coeficiente de difusão diminui à medida que aumenta a concentração de água na matriz resinosa, podendo-se esperar uma redução na taxa de sorção de água com o aumento do tempo de armazenamento (KALACHANDRA; WILSON, 1992; ÖRTENGREN et al., 2001a). Ferracane, Berge e Condon (1998) observaram que esta lenta sorção de água até o ponto de saturação correlaciona-se com o fato que certas propriedades das resinas compostas, como tenacidade de fratura e dureza podem ser reduzidas após 6 meses; porém redução adicional não é observada após este período, uma vez que a rede encontra-se saturada de água e torna-se amolecida, a estrutura do compósito estabiliza e não ocorre redução adicional das suas propriedades. Nesse estudo, este fato não ocorreu após 6 meses, pois os valores de microdureza da resina composta utilizada foram ainda menores após 12 meses para todos os grupos experimentais.

Os resultados sugerem que quanto maior a distância de fotoativação, maior a degradação do compósito em ambiente aquoso, podendo comprometer a durabilidade e o comportamento clínico do material em curto prazo. Isto foi confirmado pelos maiores valores de sorção e solubilidade quando a resina composta foi fotoativada a 10 e 15 mm de distância, influenciando negativamente nos valores de dureza.

Quando os resultados são extrapolados para o ambiente bucal, deve-se ter cautela, pois a polimerização dos espécimes em laboratório representa um procedimento ideal, no entanto maiores valores de sorção e solubilidade são esperados *in vivo*.

6.3 Estabilidade de Cor

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 freqüente ingestão de alimentos e bebidas corantes. Diante disso, a estabilidade de cor da resina composta assume um papel crucial no sucesso do tratamento restaurador estético, pois a alteração desta propriedade pode indicar a substituição das restaurações.

A estabilidade de cor das resinas compostas pode ser influenciada por vários fatores, como composição da resina composta (RÜTTERMANN et al., 2008; JANDA et al., 2005; JANDA et al., 2007b; YAZICI et al., 2007; SCHULZE et al., 2003; GÜLER et al., 2009), aparelho fotoativador (YAZICI et al., 2007; PIRES-DE-SOUZA et al., 2007; JANDA et al., 2004), tempo de irradiação (JANDA et al., 2005; PRADO JUNIOR et al. 2008; JANDA et al., 2007b; RÜTTERMANN et al., 2008), grau de conversão (IMAZATO et al., 1995; JANDA et al., 2007b), técnica de acabamento e polimento da restauração (GÜLER et al., 2009), método de armazenamento dos espécimes (JANDA et al., 2007b), tipo de solução (DINELLI et al., 1994-1995), tempo de imersão na solução (IMAZATO et al., 1995; SAMRA et al., 2008; YAZICI et

al., 2007; JANDA et al., 2007b) e sorção de água (REIS et al., 2001; VICHI et al., 2004).

Considerando que a qualidade de polimerização influencia na estabilidade de cor dos compósitos (RÜTTERMANN et al., 2008; JANDA et al., 2005), optou-se por avaliar a influência de diferentes distâncias de fotoativação nessa propriedade. Optou-se também pela realização do polimento da superfície dos espécimes, por ser um procedimento eficaz na redução do manchamento por agentes pigmentantes (DIETSCHI et al., 1994). Quanto maior a lisura e menor a porosidade do material, menor a aderência de agentes responsáveis por alterar a cor dos compósitos, como o biofilme dental, corantes provenientes da alimentação, cigarro e outros (VICHI et al., 2004). Quando as resinas compostas são polimerizadas contra uma tira de matriz de poliéster, a superfície apresenta-se mais lisa, porém com maior quantidade de matriz orgânica, fazendo-as mais suscetíveis ao manchamento (BAGHERI et al., 2007). Assim, se os espécimes não tivessem sido polidos, poderiam ter apresentado maior alteração de cor do que a observada nos resultados desse estudo.

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 através da absorção ou adsorção (PRADO JÚNIOR; PORTO NETO, 2000). Por isso, 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; MAROTTI et al., 2006; DINELLI et al., 1994-1995). Alguns estudos têm utilizado o vinho tinto como solução de imersão (TOPCU et al., 2009) por conter álcool na sua composição, o qual facilita o manchamento devido ao amolecimento que provoca na matriz

resinosa dos compósitos (YAP et al., 2001). No presente estudo, optou-se pela utilização do suco de uva como meio de imersão, pois o vinho poderia mascarar os resultados quanto ao real efeito da distância de fotoativação na estabilidade de cor da resina composta avaliada.

De acordo com os resultados, todos os grupos experimentais apresentaram alteração de cor após 28 dias de imersão no suco de uva, independente da distância de fotoativação utilizada. O significado clínico desse resultado está na quantificação da alteração de cor (ΔE) dentro do período avaliado e o quanto pode ser considerado perceptível e aceitável. Apesar das controvérsias existentes na literatura com relação aos valores de aceitação clínica para alteração de cor (ΔE), vários trabalhos mostraram que as restaurações são consideradas clinicamente aceitáveis quando apresentam $\Delta E \leq 3,3$ (UM; RUYTER, 1991; SCHULZE et al., 2003; VICHÍ et al., 2004; JANDA et al., 2005), valor adotado no presente estudo. Valores superiores de ΔE foram observados após 21 dias de imersão dos espécimes no suco de uva, enquanto que o armazenamento em água (controle) resultou em alteração de cor imperceptível e clinicamente aceitável ao final do período experimental (Tabela 7 e Figura 20). Desta forma, pode-se constatar que o meio de imersão é um fator que influencia na estabilidade de cor das resinas compostas (DINELLI et al., 1994-1995), pois independente da distância de fotoativação ou do tempo de armazenamento utilizados, diferenças significantes foram encontradas entre os meios de imersão, onde a alteração de cor do compósito foi significativamente maior quando imerso no suco de uva.

Quando os espécimes foram imersos em água, diferenças estatisticamente significantes não foram encontradas entre as distâncias de fotoativação, nem entre

os tempos de imersão, quando comparados ao grupo controle (0 mm) (Tabelas 6 e 7). Segundo Villalta et al. (2006), a sorção de água por si não é capaz de alterar a cor da resina composta a uma extensão considerável no período de avaliação proposto. Na ausência de pigmentação externa, o manchamento intrínseco pode estar relacionado à influência do método de envelhecimento utilizado sob várias condições físico-químicas, como irradiação visível e ultravioleta, mudança de temperatura e umidade, luz de xenônio (BUCHALLA et al., 2002; SCHULZE et al., 2003; FURUSE et al., 2008). Alguns autores observaram que enquanto o armazenamento dos espécimes em meio seco mostrou suave alteração de cor, os que foram armazenados em água apresentaram descoloração mais agressiva (JANDA et al. 2007b; BUCHALLA et al., 2002). Apesar do presente estudo não comparar armazenamento em meio seco e aquoso, pode-se observar que os espécimes imersos em água mostraram suave alteração de cor (ΔE) (VILLALTA et al., 2006; RÜTTERMANN et al., 2008; MAROTTI et al., 2006; GHABRAMANLOO et al., 2008) após 28 dias de armazenamento (Tabela 7).

Sabe-se que a percepção de cor está diretamente relacionada com a dispersão da luz. Considerando que a interface entre matriz orgânica e partícula de carga é um dos pontos mais frágeis do compósito, com alta sensibilidade à sorção de água (KALACHANDRA, 1989), pode-se supor que a degradação hidrolítica desta interface pode modificar a maneira pela qual a luz é dispersa pelas partículas (VICHI et al., 2004, PIRES-DE-SOUZA et al., 2007). Diante disso, a estabilidade de cor tem se mostrado diferente, dependendo das partículas de carga presentes no compósito. Resinas compostas de micropartículas apresentam maior alteração de cor, seguidas das microhíbridas e das híbridas (PIRES-DE-SOUZA et al., 2007; BUCHALLA et al., 2002), pois em compósitos com maior proporção de interface carga-matriz, pode

ocorrer a instabilidade hidrolítica do silano existente entre as partículas de carga e a matriz, levando ao decréscimo da luminosidade devido ao armazenamento em água (BUCHALLA et al., 2002).

Analisando-se a Tabela 7 e a Figura 20, pode-se observar que o tempo de imersão no suco de uva influenciou no grau de manchamento da resina composta, mostrando-se significativo em cada período avaliado. Com isso, a hipótese 6 deve ser rejeitada. Esses resultados são concordantes com outros autores, enfatizando que quanto maior o tempo de imersão em soluções corantes, mais intensa a alteração de cor, o que torna o período de imersão um fator crucial na estabilidade de cor das resinas compostas (YAZICI et al., 2007; PRADO JÚNIOR; MOITA NETO et al.; BUCHALLA et al., 2002; SAMRA et al., 2008; DINELLI et al., 1994-1995; BADRA et al., 2005).

Alguns autores constataram que existe uma relação entre manchamento de compósitos e sorção de água (UM; RUYTER, 1991; DIETSCHI et al., 1994). Assim, a maior susceptibilidade ao manchamento pelo suco de uva, observada em cada período de avaliação, está provavelmente relacionada à contínua sorção de água ocorrida durante estes períodos e à penetração dos pigmentos na matriz resinosa com efeito cumulativo (MAROTTI et al., 2006; DINELLI et al., 1994-1995; UM; RUYTER, 1991); afinal o manchamento está diretamente relacionado ao tipo e quantidade de pigmento, além da duração do seu contato com o compósito (MAROTTI et al., 2006; LUCE; CAMPBELL, 1988). Durante o processo de sorção, a água atua como um carreador dos agentes pigmentantes (DIETSCHI et al, 1994, JANDA et al., 2004; IMAZATO et al., 1999). Uma vez que a interface entre matriz orgânica e partícula de carga é um dos pontos mais frágeis do compósito, com alta

sensibilidade à sorção (KALACHANDRA, 1989), a solução sorvida tende a acumular-se nesta interface (KALACHANDRA; WILSON, 1992), provocando a perda da união carga-matriz ou a degradação hidrolítica das partículas (SÖDERHOLM 1984; BAGHERI et al., 2005). Com isso, especula-se que o amolecimento da matriz resinosa possa ter favorecido o deslocamento das partículas de carga da matriz, levando à formação de uma superfície porosa e suscetível ao manchamento (BADRA et al., 2005). Assim, observou-se uma retenção lenta e gradual do corante, com conseqüente alteração de cor do compósito, até o final do período experimental (PRADO JÚNIOR; PORTO NETO, 2000; SAMRA et al., 2008), independente da distância de fotoativação utilizada.

A instabilidade de cor da resina composta pode ser provocada por mudanças endógenas, porém o manchamento é potencializado pelas condições superficiais da resina como a rugosidade (REIS et al., 2003; DIETSCHI et al., 1994). Badra et al. (2005) mostraram que diferentes bebidas (coca cola, cachaça, café e saliva artificial) alteraram, em certo grau, a rugosidade superficial e/ou a microdureza das resinas compostas avaliadas, dentre elas da Z-250. Observaram que quanto maior o número de imersões nas bebidas, maior o impacto na rugosidade superficial e na microdureza, enfatizando que tais propriedades estão diretamente relacionadas à quantidade e frequência de ingestão. A rugosidade superficial causada por desgaste ou degradação química pode aumentar a susceptibilidade ao manchamento de origem extrínseca (DIETSCHI et al., 1994).

A instabilidade de cor observada nos espécimes imersos no suco de uva provavelmente ocorreu devido à adsorção do corante na superfície do compósito (SAMRA et al., 2008; DIETSCHI et al., 1994). A absorção na camada sub-superficial tem mostrado ocorrer quando são utilizados corantes menos polarizados como o

café, pois penetram mais facilmente para se associarem à matriz polimérica, enquanto que os mais polares, como o chá, apenas se depositam sobre a superfície do material (UM; RUYTER, 1991). No entanto, torna-se importante ressaltar que a natureza da matriz orgânica (VILLALTA et al., 2006) e das soluções as quais os materiais resinosos são submetidos é de extrema importância para a sua capacidade de manchamento (UM; RUYTER, 1991; DINELLI et al., 1994-1995; DIETSCHI et al., 1994).

Alguns autores mostraram que as resinas compostas sofrem manchamento mais intenso das primeiras 24 h a 7 dias, progredindo de forma lenta até o final do período experimental, resultado este também encontrado nesse trabalho (PRADO JÚNIOR; PORTO NETO, 2000; PRADO JUNIOR et al., 2008; SAMRA et al., 2008; LUCE; CAMPBELL, 1988). Isto ocorre porque a maior taxa de sorção de água acontece durante os sete primeiros dias após o contato inicial com o meio (DIETSCHI et al., 1994) e o manchamento tende a seguir a evolução desse fenômeno. Assim, confirma-se a relação existente entre adsorção do corante e sorção de água, sendo que a alteração de cor do compósito tende a seguir a evolução da sorção (UM; RUYTER, 1991; DIETSCHI et al., 1994). No presente estudo, o aumento de massa dos espécimes ocorreu de forma ascendente e contínua até o 28º dia (Figura 18), período este que coincidiu com o manchamento lento e gradual do compósito durante todo o período experimental.

Apesar das alterações de cor dos materiais restauradores estéticos serem atribuídas a uma variedade de possíveis causas, pode-se enfatizar que a susceptibilidade ao manchamento está geralmente relacionada à taxa de sorção de água (DIETSCHI et al., 1994). Isso pode ser confirmado no presente estudo, pois a

maior sorção de água observada no grupo fotoativado a 15 mm de distância, quando comparado ao grupo controle (0 mm), pode estar intimamente relacionada à significativa maior alteração de cor da resina composta imersa no suco de uva quando a fotoativação foi realizada nessa mesma distância. Com isso, a hipótese 7 deve ser rejeitada, pois a distância de fotoativação influenciou na estabilidade de cor do compósito avaliado. Esses resultados são contrários aos de Prado Júnior et al. (2008), os quais não encontraram efeito significativo da distância de fotoativação na estabilidade de cor da resina composta avaliada, no entanto, a distância máxima testada foi 10 mm.

A menor densidade de potência que atingiu o compósito fotoativado a 15 mm pode ter causado baixo grau de conversão dos monômeros e, conseqüentemente, baixa estabilidade de cor do compósito (IMAZATO et al., 1995; DIETSCHI et al., 1994; RÜTTERMANN et al., 2008), quando comparado a 0 mm. Uma resina composta subpolimerizada pode levar à maior sorção de água e solubilidade dos monômeros não reagidos (MEDEIROS; NASCIMENTO, 2002; PEARSON; LONGMAN, 1989). A solubilidade em água leva ao aumento do volume livre no polímero formado e, conseqüentemente, à presença de um maior espaço para as moléculas do solvente se difundirem no interior da rede polimérica. O solvente no interior da matriz pode causar sua deterioração, assim como da interface matriz-partícula, sendo que esse processo de plastificação da matriz resulta em uma menor estabilidade de cor do compósito (FERRACANE et al., 1998).

Como mencionado previamente, o desempenho clínico dos materiais à base de monômeros dimetacrilatos é altamente dependente do grau de conversão e também da estrutura da rede polimérica formada (PEUTZFELDT; ASMUSSEN, 2005). Por isso, pode-se também supor que a menor densidade de potência que

atingiu os espécimes fotoativados a 15 mm de distância pode ter levado à formação de poucos centros de crescimento das cadeias poliméricas, resultando em estruturas com menor quantidade de ligações cruzadas (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003a; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2003b) e, portanto, mais suscetíveis à entrada do solvente (FERRACANE, 2006).

Clinicamente, objetiva-se uma resina com maior dureza e menor manchamento ao longo do tempo. Apesar da correlação entre ambas as propriedades não ter sido avaliada no presente estudo, alguns autores (MAROTTI et al., 2006; SCHULZE et al., 2003) não observaram associação significativa entre manchamento e dureza quando os espécimes foram armazenados em água, porém sim quando expostos a soluções corantes (café e vinho).

Os resultados enfatizaram que a ponta do aparelho deve, de preferência, estar em contato direto com o compósito durante a fotoativação para que haja um melhor grau de polimerização e menor alteração de cor por pigmentos advindos do suco de uva. No entanto, o tempo e o meio de imersão também exercem influência significativa na estabilidade de cor dos compósitos. Diante disso, acredita-se que o contato dos materiais restauradores com o ambiente bucal, associado aos mais variados tipos de alimentos e bebidas, muitas vezes acompanhados de corantes, induzem as restaurações ao manchamento em um curto período de tempo (TOPCU et al., 2009), dependendo dos hábitos alimentares dos pacientes. Considerando que a solução pigmentante testada no presente estudo não representa todas as substâncias as quais os materiais restauradores estão expostos, estudos adicionais são necessários para o completo esclarecimento da estabilidade de cor dos materiais à base de resina composta.

Pelos resultados do presente estudo, foi possível observar que o grau de polimerização do compósito assume um papel importante nas propriedades físicas e mecânicas das resinas compostas, pois a distância de fotoativação mostrou influenciar na dureza, na taxa de sorção de água, na solubilidade e na estabilidade de cor da resina composta utilizada. O aumento da distância entre a ponta da fonte de luz e a superfície da resina composta resultou na inadequada polimerização do compósito e no aumento da sorção de água e solubilidade (PEARSON; LONGMAN, 1989), provavelmente pela formação de uma rede polimérica com menor quantidade de ligações cruzadas. A redução das propriedades do material mostrou também estar relacionada ao tempo de armazenamento em água, pois esta age como um plastificador, podendo levar à quebra hidrolítica da ligação existente entre silano e partículas de carga, resultando na separação carga-matriz resinosa e, em seguida, na liberação dos monômeros não reagidos, resultando em menores valores de dureza e na baixa estabilidade de cor da resina composta ao longo do tempo.

Apesar dos recentes avanços das resinas compostas, o aumento da distância de fotoativação pode refletir negativamente nas suas propriedades e no seu desempenho clínico, enfatizando que a ponta do aparelho deve, de preferência, estar em contato direto com o compósito durante a fotoativação para que haja um melhor grau de polimerização e, conseqüentemente, melhores propriedades físico-mecânicas. No entanto, torna-se importante ressaltar que é difícil correlacionar os achados laboratoriais com o comportamento clínico das restaurações de resina composta, uma vez que muitos fatores estão envolvidos no ambiente bucal e não podem ser completamente simulados em laboratório. Assim, avaliações clínicas devem ser realizadas para o melhor entendimento de todos os fatores analisados nesse trabalho.

7 Conclusões

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. Quanto maior a distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta, menores os valores de microdureza tanto no topo quanto na base.
2. Os valores de microdureza da superfície topo foram superiores aos encontrados na base, independente da distância de fotoativação utilizada.
3. Ambas as superfícies avaliadas mostraram redução nos valores de microdureza após 6 e 12 meses de armazenamento em água, independente da distância de fotoativação utilizada.
4. Quanto maior a distância de fotoativação, maiores os valores de sorção de água e solubilidade.
5. Quanto maior o tempo de imersão no suco de uva, menor a estabilidade de cor da resina composta
6. Quanto maior o distanciamento da fonte de luz, menor a estabilidade de cor da resina composta.

Desta forma, todas as hipóteses nulas devem ser rejeitadas.

Referências

REFERÊNCIAS

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

Aguiar FHB, Oliveira TRV, Lima DANL, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Microhardness of different thicknesses of resin composite polymerized by conventional photocuring at different distances. *Gen Dent*. 2008;56(2):144-8.

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

Araújo CS, Schein MT, Zanchi CH, Rodrigues SA Jr, Demarco FF. Composite resin microhardness: the influence of light curing method, composite shade, and depth of cure. *J Contemp Dent Pract*. 2008;9(4):43-50.

Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dent Mater*. 2006; 22(11):988-94.

Archegas LR, Caldas DBM, Rached RN, Vieira S, Souza EM. Sorption and solubility of composites cured with quartz-tungsten halogen and light emitting diode light-curing units. *J Contemp Dent Pract*. 2008;9(2):1-9.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface. *Eur J Oral Sci*. 2003a;111(3):277-9.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Two-step curing: influence on conversion and softening of a dental polymer. *Dent Mater*. 2003b;19(6):466-70.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of selected components on crosslink density in polymer structures. *Eur J Oral Sci*. 2001a;109(4):282-5.

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

Badra VV, Faraoni JJ, Ramos RP, Palma-Dibb RG. Influence of different beverages on the microhardness and surface roughness of resin composites. *Oper Dent*. 2005;30(2):213-9.

Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Surface characteristics of aesthetic restorative materials – an SEM study. *J Oral Rehab*. 2007;34(1):68-76.

Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent*. 2005;33(5):389-98.

Buchalla W, Attin T, Hilgers RD, Hellwig E. The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. *J Prosthet Dent*. 2002;87(3):264-70.

Calais JG, Söderholm K JM. Influence of filler type and water exposure on flexural strength of experimental composite resins. *J Dent Res*. 1988; 67(5):836-40.

Carvalho PRB, Menezes Filho PF, Vicente Silva CH. Etiologia e prevenção do manchamento das restaurações estéticas com resinas compostas. *Int J Dent*. Recife. 2003;2(1):236-40

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

Chan KC, Fuller JL, Hormati AA. The ability of foods to stain two composite resins. *J Prosthet Dent*. 1980;43(5):542-5.

Ciccone-Nogueira JC, Borsatto MC, Souza-Zaroni, WC, Ramos RP, Palma-Dibb RG. Microhardness of composite resins at different depths varying the post-irradiation time. *J Appl Oral Sci*. 2007;15(4):305-9.

Corciolani G, Vichi A, Davidson CL, Ferrari M. The influence of tip geometry and distance on light-curing efficacy. *Oper Dent*. 2008;33(3):325-31.

Correr-Sobrinho L, Lima AA, Consani S, Sinhoreti MAC, Knowles JC. Influence of curing tip distance on composite knoop hardness values. *Braz Dent J*. 2000 11(1):11-17.

- D'Alpino PHP, Svizero NR, Pereira JC, Rueggeberg FA, Carvalho RM, Pashley DH. Influence of light-curing sources on polymerization reaction kinetics of a restorative system. *Am J Dent*. 2007;20(1):46-52.
- Davidson CL, de GEE, AJ. Light-curing units, polymerization, and clinical implications. *J Adhes Dent*. 2000;2(3):167-73.
- de Gee AJ, ten Harkel-Hagenaar E, Davidson CL. Color dye for identification of incompletely cured composite resins. *J Prosthet Dent*. 1984 Nov;52(5):626-31.
- 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.
- Dinelli W, Cândido MSM, Andrade MF, Loffredo LCM. Estudo da influência da retenção de corantes na translucidez de resinas compostas. Efeito de materiais, tempo e meios de imersão. *Rev ABO Nac*. 1994/1995;2(6):422-6.
- Dunne SM, Millar BJ. Effect of distance from curing light tip to restoration surface on depth of cure of composite resin. *Prim Dent Care*. 2008; 15(4):147-52.
- El-Hejazi AA. Water sorption and solubility of hybrid and microfine resins-composite filling materials. *Saudi dental Journal*. 2001;13(3):139-42.
- Eliades GC, Vougiouklakis GC, Caputo AA. Degree of double bond conversion in light-cured composites. *Dent Mater*. 1987;3(1):19-25.
- Emami N, Söderholm K-JM. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured resin composites. *Eur J Oral Sci*. 2003;111(6):536-42.
- Ernst CP, Meyer GR, Müller J, Stender E, Ahlers MO, Willershausen B. Depth of cure of LED vs QTH light-curing devices at a distance of 7 mm. *J Adhes Dent*. 2004;6(2):141-50.
- Fabre HS, Fabre S, Cefaly DF, de Oliveira Carrilho MR, Garcia FC, Wang L. Water sorption and solubility of dentin bonding agents light-cured with different light sources. *J Dent*. 2007;35(3):253-8.
- Felix CA, Price RBT. The effect of distance from light source on light intensity from curing lights. *J Adhes Dent*. 2003;5(4):283-91.

Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater.* 2006;22(3):211-22.

Ferracane J L, Berge H X, Condon J R. *In vitro* aging of dental composites in water - Effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res.* 1998;42(3):465-72.

Ferracane JL, Berge HX. Fracture toughness of experimental dental composites aged in ethanol. *J Dent Res.* 1995;74(7):1418-23.

Ferracane JL. Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehabil.* 1994;21(4):441-52.

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

Furuse AY, Gordon K, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC. Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. *J Dent.* 2008;36(11):945-52.

Ghahramanloo A, Madani AS, Sohrabi K, Sabzevari S. An evaluation of color stability of reinforced composite resin compared with dental porcelain in commonly consumed beverages. *CDA Journal.* 2008; 36(9):673-80.

Guimarães FBR, Gomes HR, Fonseca RS, Barros LM, Marinho VA, Freitas ABDA. Influência do tempo de fotopolimerização de diferentes resinas compostas na sorção de água. *Rev odonto ciênc.* 2008;23(1):67-71.

Güler AU, Güler E, Yücel AC, Ertas E. Effects of polishing procedures on color stability of composite resins. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(2):108-12.

Hammesfahr PD; O'Connor MT; Wang X. Light-curing technology: past, present, and future. *Compend Contin Educ Dent.* 2002;23(9 Suppl 1):18-24.

- Hansen EK, Asmussen E. Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *Acta Odontol Scand.* 1997;55(3):162-6
- Hansen EK, Asmussen E. Correlation between depth of cure and surface hardness of a light-activated resin. *Scand J Dent Res* 1993;101(1):62-4.
- Herbstrieth Segundo RM, Mota EG, Oshima HMS, Balbinot CE, Bondan, JL, Coelho LFB. Influência do método de polimerização na microdureza de compósitos microhíbridos armazenados em água destilada. *Rev Odonto Ciencia* 2007;22(58):317-20.
- Hirasawa T, Hirano S, Hirabayashi S, Harashima I, Aizawa M. Initial dimension change of composites in dry and wet conditions. *J Den Res.* 1983;62(1):28-31.
- Hofmann N, Renner J, Hugo B, Klaiber B. Elution of leachable components from resin composites after plasma arc vs. standard or soft-start halogen light irradiation. *J Dent.* 2002;30(5-6):223-32.
- Hörsted-Binslev, P; Mjör IA. Esthetic restoration, In: *Modern concepts in operative dentistry*. Copenhagen: Munksgaard, p.190-246, 1988.
- Hubbezoglu I, Bolayir G, Dogan OM, Dogan A, Özer A, Bek B. Microhardness evaluation of resin composites polymerized by three different light sources. *Dent Mater J.* 2007;26(6):845-53.
- Ilie N, Hickel R. Macro-, micro- and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites. *Dent Mater.* 2009;25(6):810-9.
- Imazato S, McCabe JF, Tarumi H, Ehara A, Ebisu S. Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. *Dent Mater.* 2001;17(2):178-83.
- Imazato S, Tarumi H, Kato S, Ebisu S. Water sorption and colour stability of composites containing the antibacterial monomer MDPB. *J Dent.* 1999;27(4):279-83.
- Imazato S, Tarumi H, Kobayashi K, Hiraguri H, Oda K, Tsuchitani Y. Relationship between the degree of conversion and internal discoloration of light-activated composite. *Dent Mater J.* 1995;14(1):23-30.

Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C, et al. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials*. 2005;26(33):6449-59.

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*. 2007a;82(2):545-51.

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

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.

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.

Kalachandra S, Wilson TW. Water sorption and mechanical properties of light-cured proprietary composite tooth restorative materials. *Biomaterials*. 1992;13(2):105-9.

Kalachandra S. Influence of fillers on the water sorption of composites. *Dent Mater*. 1989;5(4):283-8.

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

Lepri C.P. Influência de bebidas e escovação nas propriedades físicas de uma resina composta [dissertação]. Ribeirão Preto (SP): Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo; 2008.

Lindberg A, Peutzfeldt A, van Dijken JWV. Effect of power density of curing unit, exposure duration, and light guide distance on composite depth of cure. *Clin Oral Investig*. 2005;9(2):71-6.

- Lopes LG, Jardim Filho AV, Souza JB, Rabelo D, Franco EB, Freitas GC. Influence of pulse-delay curing on sorption and solubility of a composite resin. *J Appl. Oral Sci.* 2009;17(1):27-31.
- Lovell LG, Lu H, Elliott JE, Stansbury JW, Bowman CN. The effect of cure rate on the mechanical properties of dental resins. *Dent Mater.* 2001;17(6):504-11.
- Luce MS, Capbell CE. Stain potential of four microfilled composites. *J Prosth Dent.* 1988;60(2):151-4
- Malacarne J, Carvalho RM, Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay, FR, et al. Water sorption/ solubility of dental adhesive resins. *Dent Mater.* 2006;22(10):973-80.
- Marotti J, Vieira GF, Pereira CAB. Relação entre a dureza e o manchamento das resinas compostas. *Rev Pós Grad.* 2006;13(2):168-74.
- Martin N, Jedynakiewicz NM, Fisher AC. Hygroscopic expansion and solubility of composite restoratives. *Dent Mater.* 2003;19(2):77-86.
- Martin N, Jedynakiewicz N. Measurement of water sorption in dental composites. *Biomaterials.* 1998; 19(1-3):77-83.
- Meyer GR, Ernst CP, Willershausen B. Decrease in power output of new light-emitting diode (LED) curing devices with increasing distance to filling surface. *J Adhes Dent.* 2002;4(3):197-204.
- Medeiros EB, Nascimento ABL. Causas e conseqüências da fotopolimerização inadequada da resina composta. *RBO.* 2002;59(6):403-5.
- Mohsen NM, Craig RG. Hydrolitic stability of silanated zirconia-silica-urethane dimethacrylate composites. *J Oral Rehab.* 1995;22(3):213-20.
- Momoi Y, McCabe JF. Hygroscopic expansion of resin based composites during 6 months of water storage. *Br Dent J.* 1994;176(3):91-6.
- Moon HJ, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Effects of various light curing methods on the leachability of uncured substances and hardness of a composite resin. *J Oral Rehab.* 2004;31(3):258-64.

Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu T-MG, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and microhardness of types of materials and shades. *Oper Dent*. 2008;33(4):408-12.

Neves AD, Discacciati JA, Orefice RL, Yoshida MI. Influence of the power density on the kinetics of photopolymerization and properties of dental composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005;72(2):393-400.

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

Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T. Effect of light intensity on polymerization of light-cured composite resins. *Dent Mater J*. 1994;13(2):198-205.

Örtengren U, Wellendorf H, Karlsson S, Ruyter IE. Water sorption and solubility of dental composites and identification of monomers released in an aqueous environment. *J Oral Rehabil*. 2001a;28(12):1106-15.

Örtengren U, Andersson F, Elgh U, Terselius B, Karlsson S. Influence of pH and storage time on the sorption and solubility behaviour of three composite resin materials. *J Dent*. 2001b;29(1):35-41.

Palin WM, Fleming GJ, Burke FJ, Marquis PM, Randall RC. Monomer conversion versus flexure strength of a novel dental composite. *J Dent*. 2003;31(5):341-51.

Pastila P, Lassila LVJ, Jokinen M, Vuorinen J, Vallittu PK, Mäntylä T. Effect of short-term water storage on the elastic properties of some dental restorative materials - A resonant ultrasound spectroscopy study. *Dent Mater*. 2007;23(7): 878–84.

Pearson GJ, Longman M. 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.

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

- Pires JAF, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ, Jr. effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Dent Res.* 1993;24(7):517-21.
- Pires-de-Souza FCP, Garcia LFR, Hamida HM, Casemiro LA. Color stability of composites subjected to accelerated aging after curing using either a halogen or a light emitting diode source. *Braz Dent J.* 2007;18(2):119-23.
- Polydorou O, Trittler R, Hellwig E, Kümmerer K. Elution of monomers from two conventional dental composite materials. *Dent Mater.* 2007; 23(12): 1535–41.
- Prado Júnior RR, Moita Neto JM, Mendes RF, Parente DM. Estudo quimiométrico qualitativo da polimerização de resina composta. *RGO.* 2008;56(3):261-6.
- Prado Júnior RR, Porto Neto ST. Estudo comparativo da estabilidade de cor de materiais estéticos. Efeito de materiais e tempo. *Rev Odontol UNESP.* 2000;29(1-2):31-41.
- Price RBT, Felix CA, Andreou P. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. *Biomaterials.* 2004;25(18):4465-77.
- Price RB, Derand T, Sedarous M, Andreou P, Loney RT. Effect of distance on the power density from two light guides. *J Esthet Dent .* 2000; 12(6):320-7.
- Rathbun MA, Craig RG, Hanks CT, et al. Cytotoxicity of a Bis-GMA dental composite before and after leaching in organic solvents. *J Biomed Mater Res.* 1991;25(4):443–57.
- Reis AF, Giannini M, Lovadino JR, Ambrosano GM. Effects of various finishing systems on the surface roughness and staining susceptibility of packable composite resins. *Dent Mater.* 2003;19(1):12-8.
- Reis A, Loguercio AD, Schroeder M, Bauer JRO, Filho LER, Busato ALE. Avaliação da estabilidade de cor inicial de diferentes resinas compostas. *RBO.* 2001;58(5):348-50.
- Rissi RC, Cabral A. Fotopolimerização: principais variáveis clínicas que podem interferir no processo. *Rev APCD.* 2002;56(2):123-8.

Rode KM, Kawano Y, Turbino ML. Evaluation of curing light distance on resin composite microhardness and polymerization. *Oper Dent*. 2007;32(6):571-8.

Rueggeberg, F. Contemporary issues in photocuring. *Compend Contin Educ Dent Suppl*. 1999;20(25):S4-15.

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.

Rüttermann S, Servos A, Raab WHM, 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. Physical and chemical aspects related to substances released from polymer materials in an aqueous environment. *Adv Dent Res*. 1995;9:344.

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

Samra APB, Pereira SK, Delgado LC, Borges CP. Color stability evaluation of aesthetic restorative materials. *Braz Oral Res*. 2008;22(3):205-10.

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

Scarrett DC, Söderholm K-JM, Ybatich CD. Water and abrasive effects on three-body wear of composites. *J Dent Res*. 1991;70(7):1074-81.

Schneider LF, Pfeifer CS, Consani S, Pahl SA, Ferracane JL. Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. *Dent Mater*. 2008 24(9):1169-77.

Schulze KA, Marshall SJ, Gansky SA, Marshall GW. Color stability and hardness in dental composites after accelerated aging. *Dent Mater*. 2003;19(7):612-9.

Sideridou ID, Karabela MM, Vouvoudi ECh. Volumetric dimensional changes of dental light-cured dimethacrylate resins after sorption of water or ethanol. *Dent Mater*. 2008a;24(8):1131-6.

Sideridou ID, Karabela MM, Vouvoudi ECh. Dynamic thermomechanical properties and sorption characteristics of two commercial light cured dental resin composites. *Dent Mater.* 2008b;24(6):737-43.

Sideridou ID, Achilias DS. Elution study of unreacted Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, and Bis-EMA from light-cured dental resins and resin composites using HPLC. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2005;74(1):617-26.

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 JGA. Relationship between the degree of conversion, solubility and salivary sorption of a hybrid and a nanofilled resin composite: influence of the light-activation mode. *J Appl Oral Sci.* 2008;16(2):161-6.

Söderholm KJ, Mukherjee R, Longmate J. Filler leachability of composites stored in distilled water or artificial saliva. *J Dent Res.* 1996;75(9):1692-9.

Söderholm KJ, Roberts MJ. Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res.* 1990; 69(12):1812-6.

Söderholm KJ, Zigan M, Ragan M, Fischlschweiger W, Bergman M. Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent Res.* 1984;63(10):1248-54.

Söderholm KJ. Leaking of fillers in dental composites. *J Dent Res.* 1983;62(2):126-30.

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

Soh MS, Yap AUJ, Siow KS. The effectiveness of cure of LED and halogen curing lights at varying cavity depths. *Oper Dent.* 2003;28(6):707-15.

Tabatabaee MH, Mahdavi H, Zandi S, Kharrazi MJ. HPLC Analysis of eluted monomers from two composite resins cured with LED and halogen curing lights. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2009;88(1):191-6.

Tanaka K, Taira M, Shintani H, Wasaka K, Yamaki M. Residual monomers (TEGDMA and BisGMA) of a set visible-light-cured dental resin composite when immersed in water. *J Oral Rehabil.* 1991;18(4):353–62.

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

Thomé T, Steagall Jr. W, Tachibana A, Braga SRM, Turbino ML. Influence of the distance of the curing light source and composite shade on hardness of two composites. *J Appl Oral Sci.* 2007;15(6):486-91.

Toledano M, Osorio R, Osorio E, Fuentes V, Prati C, Garcia-Godoy F. Sorption and solubility of resin-based restorative dental materials. *J Dent.* 2003;31(1):43-50.

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.

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

Vandewalle KS, Roberts HW, Rueggeberg FA. Power distribution across the face of different light guides and its effect on composite surface microhardness. *J Esthet Restor Dent.* 2008;20(2):108-17.

Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater.* 2004;20(6):530-4.

Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM. Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *J Prosth Dent.* 2006;95(2):137-42.

Xu X, Sandras DA, Burgess JO. Shear bond strength with increasing light-guide distance from dentin. *J Esthet Restor Dent.* 2006;18(1):19-27.

Witzel MF, Calheiros FC, Gonçalves F, Kawano Y, Braga RR. Influence of photoactivation method on conversion, mechanical properties, degradation in ethanol and contraction stress of resin-based materials. *J Dent.* 2005;33(9):773-9.

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

Yap AUJ, Tan SHL, Wee SSC, Lee CW, Lim ELC, Zeng KY. Chemical degradation of composite restoratives. *J Oral Rehab*. 2001;28(11):1015-21.

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

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

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

Zhang Y, Xu J. Effect of immersion in various media on the sorption, solubility, elution of unreacted monomers, and flexural properties of two model dental composite compositions. *J Mater Sci Mater Med*. 2008;19(6):2477-83.