

Tensões de Contração das Resinas Compostas Geradas durante a Polimerização

Nasser Hussein Fares*, Kennedy Queiroz Coutinho**, Marcelo Guerino Couto***, Mário Couto-Júnior****, Halim Nagem-Filho*****

Resumo: A microinfiltração marginal tem sido objectivo de pesquisas em busca de soluções para o controle dos diversos factores que influenciam o mecanismo de contração das resinas compostas e na qualidade marginal de restaurações confeccionadas com este material. Portanto, o objectivo desta revisão foi avaliar a influência destas variáveis, tomando-se como base uma ampla bibliografia disponível na literatura especializada, que vai desde os trabalhos de pesquisa realizados há cerca de cinquenta anos, até aos mais recentes. Pode perceber-se que factores inerentes ao material, à configuração cavitária, à técnica restauradora e à técnica de polimerização e/ou unidade fotoactivadora, têm influência significativa nos efeitos da contração de polimerização bem como na qualidade do selamento superficial de restaurações de resina composta. Dentre esses, alguns como: a selecção da resina composta/sistema adesivo (considerando sua composição, matriz); a configuração cavitária e a técnica restauradora (associação de materiais, técnica de inserção, modulação da fotoativação), podem ser, de certa forma, controlados pelo operador, reduzindo os efeitos de contração, melhorando, portanto, a qualidade marginal de restaurações realizadas com resinas compostas fotoactivadas. Entretanto, não se deve ter a ilusão que a análise de uma propriedade isolada seja suficiente para confirmar a boa qualidade ou o desempenho clínico do produto. É necessário agrupar todas as propriedades e avaliá-las, em conjunto, para se ter uma afirmação das resinas compostas na clínica médico-dentária.

Palavras-Chave: Resina composta; Tensões de contração; Polimerização.

Abstract: The microleakage has been object of studies in the search of solutions for the control of the several factors that possibly influence the mechanism of shrinkage of the composite resins and in the marginal quality of these restorations. The aim of this review was to evaluate the influence of these factors. For this reason, an ample bibliography that goes since the carried through works of research to about fifty years behind until most recent. Factors as the material, the configuration factor, restoring technique and the polymerization technique and/or dental light-curing units have significant influence in the effects of the shrinkage as well as in the quality of the marginal sealing of resins composites restorations. The selection of the resin composite and bonding system (their composition, shade), the configuration factor and filling technique (association of materials, inserion, modulation of light-curing) can be controlled by operator, reducing the contraction effects, improving, therefore, the marginal sealing quality of resins composites restorations. However, we should not have the illusion that the analysis of one isolated property is enough to confirm the good results or the clinical performance of the product. It is necessary to evaluate all the properties together to have a statement of the resins composites in the clinic.

Key-words: Composite resin; Shrinkage stress; Light-curing.

(Fares NH, Coutinho KQ, Couto MG, Couto-Júnior M, Nagem-Filho H. Tensões de contração das resinas compostas geradas durante a polimerização. Rev Port Estomatol Cir Maxilofac 2004;45:177-184)

* Prof. da Disciplina da Clínica Geral I e II ; Faculdade de Odontologia – Universidade de Cuiabá – UNIC; Prof. de Dentística – Faculdade Integrada Maria Coelho Aguiar – FIMCA

** Prof. de Dentística – Faculdade Integrada Maria Coelho Aguiar – FIMCA.

***Doutor de Materiais Dentários pela FOB_USP; Faculdade de Odontologia de Nova Friburgo –RJ

****Doutor de Materiais Dentários pela FOB-USP; Faculdade de Odontologia de Nova Friburgo -RJ

*****Prof. Titular de Materiais Dentários da FOB-USP

INTRODUÇÃO

Alguns estudos têm sugerido que a modulação da velocidade da reacção de polimerização prolongaria a fase pré-gel da resina, fornecendo condições para o escoamento do material e para um maior alívio das tensões geradas durante este processo^(1,2). Deste modo, a formação de fendas na interface poderia ser reduzida caso o material fosse fotoactivado mais lentamente⁽³⁾. Uma fotoactivação inicial com baixa intensidade de luz seguida por uma fotoactivação final com alta intensidade de luz⁽⁴⁾ tenderia a minimizar as fendas marginais, sem, no entanto, prejudicar as propriedades físico-mecânicas das resinas compostas⁽⁵⁾.

Com a finalidade de contornar o problema da microinfiltração na interface dente/compósito, inúmeros artifícios foram sugeridos para melhorar a adaptação marginal das resinas compostas à estrutura dental, como o condicionamento ácido, o emprego de adesivos dentinários, o biselamento nas margens da cavidade, a associação de materiais, como o uso de uma base de cimento de ionómero de vidro sob um sistema adesivo - resina composta⁽⁶⁾ e a introdução de novas técnicas de inserção e polimerização do material restaurador⁽⁷⁻¹⁰⁾.

Durante a polimerização da resina, a formação das cadeias poliméricas depende dos radicais livres; no ponto de vista de Rueggeberg & Caughman⁽¹¹⁾ o grau de conversão da resina depende, não somente da formulação química propriamente dita, mas também, de outros factores como: quantidade de luz disponível para alcançar o agente iniciador e da temperatura externa. Ainda Rueggeberg⁽¹²⁾ considera que o meio de transmissão da luz é um dos factores mais

importantes e que os aparelhos que a emitem possuem características de emissão de energia diversas, de acordo com o modelo adoptado pelo fabricante. Desta forma, existe muita confusão entre o modus operandi de cada fotopolimerizador. As unidades variam desde o convencional, pelo qual a intensidade de luz é fixa, como por exemplo, a luz halógena de quartzo, até os sistemas de arco de plasma (PAC) ou lasers de árgon. Por esta razão, também os métodos de polimerização são diferentes variando de baixa a alta energia. A intensidade de luz é empregada por etapas e as resinas sofrem polimerizações diferentes. Isto significa que as camadas superficiais mais próximas da fonte de luz polimerizam-se mais eficazmente do que as camadas mais profundas no interior do material⁽¹³⁾. Diante deste facto, é de se esperar que a composição química da resina seja factor preponderante ao se determinar o grau de polimerização. Para qualquer composição das resinas fotoactivadas, as características de polimerização estão directamente relacionadas com a quantidade e qualidade da luz incidente⁽¹¹⁾. Para que ocorra a fotoactivação, existe um comprimento de onda ideal em que a canforoquinona seja activada, que corresponde a um pico de cerca de 470nm⁽¹⁴⁾. De acordo com o aumento da intensidade de luz e do tempo de exposição, a profundidade de polimerização aumenta. No entanto, esta não é uma relação matemática linear. A fonte de luz deveria ficar o mais próximo possível da superfície da resina a fim de proporcionar uma polimerização adequada.

GRAU DE CONVERSÃO DA RESINA COMPOSTA

Os factores que mais influenciam o grau de conversão da resina, segundo Rueggeberg et

al.⁽¹⁵⁾, estão sob o controle dos profissionais, sendo eles: a espessura do incremento (o de maior importância), o tempo de exposição à luz e a intensidade de luz e comprimento de onda. Já os que não estão ao alcance do controle clínico, como: tipo de partículas inorgânicas incorporadas, composição do complexo resinoso e matiz do material apresentam, por sua vez, um mínimo impacto se comparados com os demais. Como a espessura do incremento é o de maior importância, recomenda-se que cada um deva ser inserido na cavidade, na menor espessura possível, não ultrapassando 1,0 a 1,5mm, para que se possa maximizar a polimerização do material, contribuindo para a melhoria das propriedades mecânico-físicas do mesmo⁽¹⁶⁾. Contudo, quando incrementos superiores a 2mm forem inseridos, a intensidade de luz e o tempo de exposição tornam-se factores de extrema importância na reacção de polimerização, pois a espessura da resina age atenuando a intensidade da luz fotopolimerizadora. Para que camadas mais espessas possam ser adequadamente polimerizadas, há a necessidade de um maior tempo de exposição e de uma adequada intensidade de luz⁽¹⁶⁻¹⁸⁾.

Segundo o modelo matemático de Rueggeberg *et al.*⁽¹⁵⁾, de acordo com a espessura do incremento de resina, conhecendo-se a intensidade de luz, é possível saber qual o tempo de exposição necessário para que se obtenha uma conversão adequada e, diminuindo-se a intensidade de luz, deve-se prolongar o tempo de exposição. De um modo geral, recomenda-se uma exposição de 60 segundos com uma intensidade de luz mínima de 400mW/cm² por incremento de resina composta, o qual não deve ultrapassar 2mm, sendo 1mm a espessura ideal. Quando a intensidade de luz

atingir valores mínimos de 233mW/cm², esta não deverá ser utilizada, necessitando de manutenção técnica^(19,20). Por sua vez, o controle da intensidade de luz também está em função da distância entre a superfície da resina e a extremidade da ponta activa da fonte de luz. A intensidade de luz diminui conforme esta extremidade se afasta do material restaurador⁽²¹⁾. Pensava-se que a intensidade de luz obedecesse à lei do inverso do quadrado da distância. Desta forma seria possível prever a perda de luz, de acordo com a distância entre a fonte e a restauração. Esta perda poderia ser compensada calculando-se o aumento do tempo de exposição, de acordo com o modelo matemático de Rueggeberg *et al.*⁽¹⁵⁾. Entretanto, Rueggeberg & Jordan⁽¹⁷⁾ provaram que esta lei não é verdadeira em distâncias de zero até 10mm.

A recomendação clínica mais comum é a de que a ponta activa da fonte de luz deva estar o mais próximo possível da resina, a fim de evitar perdas da intensidade, porém, nem sempre é possível respeitar esta distância em função da profundidade da cavidade⁽²¹⁾, como nas restaurações de cavidades de classe II⁽¹⁷⁾.

Segundo Dlugokinski *et al.*⁽²²⁾, a luz fluorescente não influencia a polimerização da resina, mesmo após uma exposição de 10 minutos. No entanto, a luz do reflector é capaz de iniciar a fotoativação da resina composta, sendo que, após 10 minutos de exposição a este tipo de luz, houve um grau de polimerização de até 80%, comparando-se com as unidades fotoactivadoras. Portanto deve-se ter cuidado ao manipular o material sob a luz do reflector, procurando evitar uma fotoativação prematura, que prejudicaria o resultado final da restauração.



CONTRACÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO

A contracção de polimerização representa um factor de extrema preocupação e cuidados, uma vez que consiste numa característica inerente ao material. O controle da contracção deve ser realizado de modo a não prejudicar as demais propriedades do material. Posto isso, existe uma incessante busca por técnicas e/ou formulações e/ou associações dos materiais capazes de unir propriedades ideais e uma contracção de polimerização de menor magnitude^(23,24). Neste contexto, as técnicas de inserção do material e a forma de fotoactivação do mesmo ocupam lugar de destaque e estão ao alcance do clínico.

Na polimerização, as resinas à base de metacrilato sofrem uma contracção significativa. Esta diminuição de volume é atribuída à mudança no espaço interatómico entre as moléculas em solução (ligações de van der Waals) e aquelas das ligações covalentes⁽²⁵⁾. Foi determinado que para todo mol de ligações C=C convertidas em C-C, há uma contracção no volume de 23,0 μm ⁽²⁶⁾.

A polimerização da matriz da resina produz um estado de geleificação no qual o material restaurador é transformado de um estado plástico-viscoso para uma fase rígido-elástica. O ponto gel é definido com o momento no qual o material não pode mais dispor do escoamento viscoso para se manter neste estado durante a contracção de polimerização⁽²⁵⁾, e varia de acordo com a intensidade de luz⁽²⁷⁾. A contracção de polimerização pode ser dividida em duas partes, que são: fase pré-gel, na qual a alteração volumétrica pode ser compensada pelo escoamento contínuo do material; e a fase pós-gel, na qual a contracção de um polímero é acompanhada pelo desenvolvimento do módulo de elasticidade⁽²⁸⁾. A relação BISGMA/

TEGDMA é indicativa do comportamento da viscoelasticidade da resina durante a fase de polimerização. Quanto mais elevada for a relação, mais alta é dureza e maior a viscosidade. Resinas com 50% de TEGDMA incorporada na resina apresentam o nível máximo de polimerização, mas aumenta discretamente a fase pré-gel⁽²⁹⁾. Desta forma, os resultados da contracção são dependentes da capacidade de escoamento do material⁽²⁵⁾. Contudo, as resinas compostas fotoactivadas desenvolvem uma capacidade de escoamento menor do que a de suas homólogas químicas⁽³⁰⁾.

A contracção de polimerização gera tensões na resina composta, que podem romper as ligações entre o sistema adesivo e a dentina e esmalte⁽¹⁾. Esta competição entre as tensões de contracção nas resinas polimerizadas e as ligações adesivas nas paredes da restauração é uma das principais causas de falhas marginais⁽³¹⁾, dando origem ao aparecimento de fendas marginais⁽³²⁾, e consequentemente resultando na possibilidade de penetração de fluidos, bactérias e suas toxinas. Quando as tensões de contracção rompem as ligações adesivas à parede cavitária, esta transforma-se numa superfície livre. Desde que a formação destas fendas envolve uma porção substancial da margem da restauração, uma contracção adicional irá aumentar a largura da fenda nestas superfícies com a adesão rompida, sem gerar tensões nas margens opostas⁽³³⁾. O pico das tensões geradas pela contracção ocorre na margem cavosuperficial⁽³⁴⁾.

As tensões criadas na interface adesiva não é apenas uma simples função da contracção volumétrica, mas sim uma interacção de diversos factores. Um alto módulo de elasticidade do material restaurador mostrou aumentar a resistência adesiva à dentina em testes laboratoriais,

mas influenciou negativamente a adaptação marginal em cavidades⁽³⁵⁾. A formação de tensões ocorre quando a contração é obstruída e o material é rígido o bastante para resistir ao escoamento plástico que compensaria o volume original⁽²⁵⁾.

FACTOR C

A conformação cavitária é de grande influência na minimização das tensões causadas pela contração de polimerização⁽²⁵⁾. As tensões de contração são tanto menores quanto menor for o factor de configuração cavitária (factor-C) e o seu valor eleva-se consideravelmente em cavidades com factor-C superior a 3,0. Segundo Feilzer *et al.*⁽³⁶⁾, o factor de configuração cavitária é definido como a proporção entre as superfícies aderidas e não aderidas da restauração. Existe uma correlação entre este factor e o desenvolvimento das tensões. De um modo geral, quanto menor for a área de superfície livre, não aderida, numa cavidade, menor será a capacidade de escoamento do material e maior serão as tensões geradas pela contração de polimerização nas superfícies aderidas⁽³¹⁾.

Existe uma relação linear entre a contração de polimerização e a intensidade de luz utilizada na fotoactivação das resinas compostas^(28,37). Como demonstrado anteriormente, existe uma recomendação geral de que alta intensidade de luz deveria ser utilizada na fotoactivação para que se possa obter um alto grau de conversão da resina, e consequentemente propriedades físicas adequadas. No entanto, este pensamento falha ao não considerar a possibilidade de uma possível influência negativa de altas intensidade de luz no desenvolvimento de tensões de contração⁽³³⁾. Uma abordagem mais recente referiu-se à possi-

bilidade de se permitir algum movimento livre da restauração entre as paredes cavitárias e o centro da contração através de uma conversão inicial mais reduzida da resina composta em suas áreas mais profundas⁽³⁰⁾. Uma reacção de polimerização mais lenta causaria menos prejuízo na interface adesiva; e em certas condições esta modulação da reacção pode ser obtida reduzindo-se a intensidade de luz, sem alterar o grau de conversão da resina e as propriedades mecânicas da mesma^(1,4,5,38,39). Esta modulação proporcionaria um estágio visco-elástico mais prolongado, o que poderia acarretar uma diminuição da forma do desenvolvimento das tensões na interface adesiva. Feilzer *et al.*⁽⁴⁰⁾ demonstraram, através de um estudo com resinas quimicamente activadas, que o maior escoamento do material, bem como um valor de configuração cavitária baixo, contribuem grandemente para a redução das tensões geradas na contração de polimerização em restaurações.

As considerações a respeito da intensidade de luz e a geração de tensões na contração de polimerização faz questionar a premissa de que a resina composta fotoactivada contrairia em direcção à fonte de luz⁽⁴¹⁾. Se esta premissa fosse correcta, não haveria o aparecimento de fendas marginais. Os autores a sustentam atribuindo a melhoria do selamento marginal devido à alteração dos vectores de contração em função da posição de luz⁽³³⁾. Todavia, o rendimento da intensidade de luz é reduzido drasticamente pela utilização da cunha e pela própria estrutura dentária; e deve-se considerar a técnica de inserção da resina em camadas, o que diminuiria os efeitos deletérios de um alto valor do factor-C⁽³³⁾. Considera-se, pois, que a posição da fonte de luz afecta os vectores de contração se a intensidade de luz for baixa o suficiente para criar

um gradiente de velocidade de polimerização no interior do material. Verslis *et al.*⁽²⁷⁾ afirmam que a resina composta não contrai em direcção à luz, mas sua direcção é predominantemente determinada pelo formato da cavidade e pela qualidade de adesão.

Um mecanismo frequentemente citado como sendo importante na compensação das tensões é o fenómeno de absorção de água pelas resinas compostas⁽⁴²⁾, que representa um fenómeno morfológico⁽³¹⁾. Embora esta expansão higroscópica conduza a um relaxamento considerável das tensões de contracção de polimerização do material, os seus efeitos dão-se muito tardiamente⁽²⁵⁾, comparando com a rapidez em que ocorre a contracção de polimerização. A expansão higroscópica também varia de acordo com tipo de resina, volume da mesma e configuração cavitária^(31,40). Quanto maior a concentração de matriz orgânica, maior será a sorção de água. Segundo Barreiros⁽⁴³⁾, o período de 21 dias proporciona a diminuição máxima das fendas marginais após o material sofrer absorção de água, logo a expansão higroscópica.

Um recurso utilizado para controlar os efeitos da contracção de polimerização é a técnica de inserção da resina composta na cavidade. Através da utilização da técnica de inserção da resina em incrementos, poder-se-ia obter uma diminuição da infiltração marginal, mas não um completo selamento⁽⁴⁴⁾. Tem sido sugerido que a técnica de inserção incremental da resina em restaurações de classe V resultaria em fendas de menor largura⁽⁴⁵⁾, conseqüentemente menor infiltração marginal e melhor adaptação marginal⁽⁸⁾. Entretanto é imprescindível notar que a utilização da técnica de inserção incremental e seus efeitos não representam um factor isolado na minimização da

formação de fendas como consequência das tensões de contracção de polimerização. Há que considerar todos os factores comentados.

CONCLUSÕES

A polimerização das resinas compostas tem influência nas suas propriedades. Na qual podem variar de acordo:

1. A composição do complexo resinoso da resina composta, o tipo de fase inorgânica.
2. Com o sistema de polimerização do compósito, a expansão higroscópica, a diferença de coeficiente de expansão térmica do material, o grau e a velocidade de conversão da resina composta, a extensão da polimerização.
3. A configuração cavitária como: o factor-C, o tamanho da cavidade, a localização das margens cavitárias.
4. A técnica restauradora: a técnica de inserção, o volume de material inserido na cavidade, a profundidade da resina, a adaptação (interna e externa) do material à cavidade, a associação de diferentes materiais, a selecção e efeito de forramento/base, qualidade de adesão, módulo de elasticidade do substrato e/ou do material associado.
5. A técnica de polimerização e/ou unidade fotoactivadora como: intensidade de luz, distância da ponta activa do aparelho ao material a ser fotopolimerizado, duração da exposição, variação de luz da fonte fotoactivadora, condições iniciais de fotoactivação, técnica de fotopolimerização e modulação da fotoactivação.

BIBLIOGRAFIA

1. Koran P, Kürschner R. Effect of sequential versus continuous irradiation of a light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion and degree of polymerization. *Am J Dent.* 1998;11(1):17-22.
2. Bouschlicher MR, Boyer DB, Rueggeberg FA. Effect of ramped/stepped light intensity on polymerization shrinkage forces. *J Dent Res* 1999;78(Special issue):396, Abstract 2322.
3. Uno S, Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res.* 1991;99(5) 440-4.
4. Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH. Physical properties 1998 and gap formation of light-cured composites with and without "sofstar-polymerization". *J Dent.* 1997;25(3/4):321-30.
5. Sakaguchi RL, Berge HX. Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. *J Dent.* 1998;26(8):695-700.
6. Hembree Júnior JH. Microleakage at the gengival margin of class II composite restorations with glass ionomer liner. *J Prosth Dent* 1989;61(1):28-30.
7. Davidson CL, Davidson-Kaban S. Handling of mechanical stresses in composite restorations. *Dent Update* 1998;25(7):274-9.
8. Löesche GM. Marginal adaptation of class II composite fillings: guided polymerization vs reduced light intensity. *J Adhes Dent* 1999;1(1):31-9.
9. Lalsingh C et al. Effect of curing lights on microleakage in class V composite restorations. *J Dent Res* 1999;78(Special issue): 306, Abstract 1601.
10. Wang Y, Suh BI. The effect on microstrain in a composite of time interval in a two-step curing procedure *J Dent Res* 1999;78(Special issue): 395, Abstract 2320
11. Rueggeberg FA, Caughman WF. Factors affecting light transmission of single-use, plastic light-curing tips. *Oper Dent* 1998;23(4):179-84.
12. Rueggeberg FA. Contemporary insusses in photocuring. *Compendium* 1999;20(supl 25):s3-s15.
13. Yearn JA. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J* 1985;35(3):218-25.
14. Shortall AC, Harrington E. Guidelines for the selection, use and maintenance of visible light activation units. *Br Dent J* 1996b;181(10):383-76.
15. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JR. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 1994;19(1):26-32.
16. Pilo R, Brosh T, Lugassy H et al. The effect of irradiation time on the shear strenght of composites. *Dent Mater* 1994;10(6):338-42.
17. Rueggeberg FA, Jordan DM. Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont* 1993;6(4):364-70.
18. Obata K et al. Sudy on curing conditions of light-cured composite resin. *Bull Kanagawa dent. Coll* 1998;26(1):3-7.
19. American Dental Association. Council on Dental Materials, Instruments and Equipment. *J Am Dent Assoc* 1985;110(1):100-3.
20. Marais JT, Dannheimer MF, Germishuys PJ et al. Depth of cure of light-cured composite resin with light-curing units of different intensity. *J Dent Assoc S Afr* 1997;52(6):403-7.
21. Pires JA, Cvitko E, Denehy GE et al. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int* 1993;24(7):517-21.
22. Dlugokinski MD, Caughman WF, Rueggeberg FA. Assessing the effect of extraneous light. *J Am Dent Assoc* 1998;129(8):1103-9.
23. Goracci G. The latest discorevies in adhesion: recent estudies. In: *International Symposium "Reconstructions With Carbon Fiber System And The Optimum Adhesive System"*. Proceedings. 1998;36-40.
24. Ferrari M, Mannocci F, Vichi A. Simplification of restorative procedures: an overview. In: *Internacional Symposium "Reconstructions With Carbon Fiber System And The Optimum Adhesive System"*. Proceedings. 1998; 41-3.
25. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1997;25(6):435-40.
26. Rueggeberg FA, Tamareselvy K. Resin cure determination by polymerization shrinkage. *Dent Mater* 1995;11(4):265-8.
27. Versluis A, Tantbiroj D, Douglas DH. Do dental composites always shrink toward the light? *J Dent Res* 1998;77(6):1435-45.
28. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MCRB. Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent* 1992;20(3):183-8.
29. Feilzer AJ, Dauvillier BS. Effect of TEGDMA/BisGMA ratio on stress development and viscoelastic properties of experimental two-paste composites. *J Dent Res* 2003;82(10):824-8.

30. Feilzer AJ, Dooren LH, De Gee AJ et al. Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. *Eur J Oral Sci* 1995;103(5):322-6.
31. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M et al. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 1996;21(1):19-24.
32. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Curing contraction of composite and glass-ionomer cements. *J Prosthet Dent* 1988;59(3):297-300.
33. Unterbrink GL, Muessner R. Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 1995;23(3):183-9.
34. Kanca III J. Class I marginal damage consequent to following manufactures' instructions. *J Dent Res* 1999;78(Special issue): 114, Abstract 67.
35. Ausiello P, Apicella A, Davidson CL. Effect of adhesive layer properties on stress distribution in composite restorations—a 3D finite element analysis. *Dent Mater* 2002;18(4):295-303.
36. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987;66(11):1636-9.
37. Fowler CS, Swartz ML, Moore BK. Efficacy testing of visible-light-curing units. *Oper Dent* 1994;19(2):47-52.
38. Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB. Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. *Am J Dent* 1997;10(2):88-96.
39. Lim BS, Ferracane JL, Sakaguchi RL, Condon Jr. Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two-step light-activation. *Dent Mater* 2002;18(6):436-44.
40. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 1990;6(3):167-71.
41. Cho BH, Dickens SH, Bae JH, Chang CG, Son HH, Um CM. Effect of interfacial bond quality on the direction of polymerization shrinkage flow in resin composite restorations. *Oper Dent* 2002; 27(3):297-304.
42. Koike T, Hasegawa T, Manabe A et al. Effect of water sorption and thermal stress on cavity adaptation of dental composites. *Dent Mater* 1990;6(3):178-80.
43. Barreiros, I. D. Eficiência do sistema adesivo em restaurações com resina composta, com determinados períodos de acabamento e polimento. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo. 1993.
44. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restorations. *J Dent Res* 1988;67(5):841-5.
45. Lutz F, Krejci I, Oldenburg TR. Improved proximal margin adaptation of class II composite resin restorations by use of light-reflecting wedges. *Quintessence Int* 1986;17(10):659-64.