



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA - FOP



Avaliação de propriedades mecânicas de compósitos resinosos comerciais

Henrique Kors Quiles

Piracicaba 2013

Faculdade de Odontologia de Piracicaba

Henrique Kors Quiles

**Avaliação de propriedades mecânicas de compósitos
resinosos comerciais**

Orientador: Mario Alexandre Coelho Sinhoreti

Co-Orientador: Victor Feitosa

Piracicaba 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
MARILENE GIRELLO – CRB8/6159 - BIBLIOTECA DA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA DA UNICAMP

Q41a Quiles, Henrique Kors, 1991-
Avaliação de propriedades mecânicas de
compósitos resinosos comerciais / Henrique Kors
Quiles. -- Piracicaba, SP: [s.n.], 2013.

Orientador: Mário Alexandre Coelho Sinhoreti.
Coorientador: Victor Pinheiro Feitosa.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) –
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Odontologia de Piracicaba.

1. Materiais dentários. I. Sinhoreti, Mário Alexandre
Coelho, 1969- II. Feitosa, Victor Pinheiro, 1987- III.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Odontologia de Piracicaba. IV. Título.

Dedicatória

Dedico este trabalho a meu pai, meu maior professor.

Agradecimentos

Gostaria primeiramente de agradecer meus pais, Celso e Tatiana, por todas as orientações, conversas e momentos de aprendizado. Obrigado por todo o incentivo e apoio que me foi dado, sem os quais jamais seria a pessoa que sou hoje. Ao meu avô, Nicolau, “In Memoriam”, agradeço a todos os valores e caráter deixados. Agradeço especialmente minha namorada, Géssica, por todo o amor, carinho e paciência que tem me dado, e principalmente, por estar sempre ao meu lado. Ao Professor Doutor Mario Alexandre Coelho Sinhoreti, por toda contribuição a minha vida acadêmica e pela oportunidade de poder realizar este trabalho. Ao meu co-orientador, agora Doutor, Victor Feitosa, pelo todo o aprendizado, orientações e horas perdidas no laboratórios, e também a todos os alunos de mestrado e doutorado da Materiais Dentários da FOP que de alguma maneira se fizeram presentes na realização deste trabalho.

Impossível de se deixar de lado, a todos os colegas de república (e agregados) com quem tive a extraordinária experiência de morar, deixo meu especial agradecimento por todas as risadas, cervejadas, churrascos, e todas as experiências em que pudemos criar estes momentos que jamais serão esquecidos, em vocês encontrei verdadeiros irmãos, e esta caminhada sem dúvida não seria a mesma sem vocês. E por último, obrigado a todos aqueles que, mesmo não citados neste texto de forma direta, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa, e parabéns a todos nós, que agora, finalmente, podemos nos chamar de Cirurgiões Dentistas.

Resumo

Neste estudo foram avaliadas diversas propriedades mecânicas de compósitos resinosos comerciais, três de baixa viscosidade (“flow”) e sete convencionais. Foram feitos três tipos de amostras, em forma de barra para teste de flexão, em forma de cilindro para teste de compressão e em forma de ampulheta para os testes de resistência coesiva, dureza Knoop e densidade de ligações cruzadas (DLC). A avaliação da densidade de ligações foi feita através do método de redução da dureza de cada espécime. Foram analisadas as porcentagens de redução de dureza das duas partes fraturadas da ampulheta, após o teste de resistência coesiva e após imersão em etanol absoluto por 24 horas. Os compósitos utilizados foram: Filtek Z100, TPH, Natural Look, Opallis, Fill Magic, Llis, Charisma, Fill Magic Flow, Opallis Flow e Natural Flow. Os testes foram realizados após 24 horas da foto ativação das amostras. Os resultados foram analisados estatisticamente com ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que no teste de dureza Knoop, Z100 obteve os maiores valores tanto no topo como na base enquanto as menores durezas foram detectadas com as resinas “flow” que foram significativamente iguais à resina Fill Magic. Também no teste de compressão, Z100 obteve os maiores resultados com similaridade estatística a Fill Magic, Llis e TPH. Natural Flow obteve os piores resultados no teste de compressão. Na análise de resistência à flexão, TPH e Z100 obtiveram as maiores resistências enquanto todas as outras resinas tiveram resultados semelhantes estatisticamente. O módulo de elasticidade maior foi com Z100 e os dois menores foram de Natural Flow e Fill Magic Flow. A resistência coesiva de TPH e Z100 foram maiores que a de Charisma e todas as outras resinas foram similares entre si. DLC foi maior para as resinas “flow”, exceto para Fill Magic Flow e foi similar entre as outras resinas. Pode-se concluir que a resina Filtek Z100 promove maior resistência frente a diferentes tensões. Com menores módulos de elasticidade, a resina Natural Flow e a Fill Magic Flow são as mais indicadas para aplicação como “liners” liberadores de tensões, entretanto a última possui menor densidade de ligações cruzadas.

Palavras-chave: compósito resinoso, compósito de alto escoamento, propriedades mecânicas.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the behavior of several dental resin composites subjected to different mechanical tests.

We evaluated three flowable composites and seven conventional composites. Three different shapes of specimen were prepared, bar-shaped specimens for the bending test, cylinder-shaped specimens for compression strength evaluation, hour-glass shaped specimens for Knoop hardness assessment, ultimate tensile strength (UTS) test and cross-link density survey; the latter was assessed by the percentage reduction in Knoop hardness after storage in absolute ethanol for 24h. The composites tested were: Filtek Z100, TPH, Natural Look, Opallis, Fill Magic, Llis, Charisma, Fill Magic Flow, Opallis Flow and Natural Flow. All experiments were undertaken 24h after light-activation. The results were analyzed using one-way ANOVA and Tukey's Test ($p < 0.05$).

The results showed that, on the Knoop Hardness strength test, Z100 obtained the highest results, both in top and base of the specimens, meanwhile the lowest results were shown on all the flowable composites, that were significant equal to Fill Magic composite. In the compression strength test, Z100 obtained the highest results; also, Fill Magic, Llis and TPH obtained statistically similarity with the Z100 composite in the later test. Natural Flow obtained the worst results on the compression strength test. In the Flexural strength test, TPH and Z100 obtained the best results, when all the other composites found statistically similarities. The Z100 composite obtained the best modulus, and the worst ones were Natural Flow and Fill Magic Flow. In the Ultimate Tensile Strength (UTS), Z100 and TPH were better than Charisma, and all other composites found statistically similarity. The Cross-Link Density were better on all flowable composites, except Fill Magic Flow, all other composites obtained statistically similarity. We can conclude that Filtek Z100 has better overall mechanical strength than all other composites tested.

Keywords. Resin composite, Flow composite, mechanical properties.

Sumario

Introdução e Revisão da Litaretura	10
Proposição	12
Materiais e Métodos	12
Resultados	16
Discussão	19
Conclusão	22
Referencias	22

Introdução e Revisão da Literatura

Os compósitos resinosos atuais trazem grande diversidade de opções para o cirurgião-dentista. Cerca de uma década atrás, os compósitos chamados “condensáveis” ou “compactáveis” surgiram como um material com manuseabilidade parecida com a do amálgama de prata que era, até pouco tempo, a principal opção para restaurações diretas em dentes posteriores (Cobb et al. 2000). Pouco tempo depois, após os compósitos compactáveis, surgiram os compósitos de alto escoamento, os quais ao contrário dos primeiros se tornaram materiais difundidos e demonstraram ser de grande utilidade para diversas situações clínicas. Os compósitos de alto escoamento possuem menor porcentagem de carga que os compósitos convencionais, porém seus componentes são os mesmos. Com a menor porcentagem de carga, a contração volumétrica é maior e as propriedades mecânicas são levemente reduzidas; entretanto, o módulo de elasticidade também é reduzido, o que pode promover tensões de contração menores ou equiparadas às dos compósitos convencionais (Baroudi et al. 2007). Por outro lado, um estudo recente (Cadenaro et al. 2009) mostrou que nem todos os compósitos de alto escoamento promoveram menor tensão de contração de polimerização que compósitos convencionais e essa relação entre contração volumétrica e módulo de elasticidade ainda é controversa em relação aos compósitos de alto escoamento. Tais compósitos já foram utilizados como primeira camada de resina composta na restauração, a qual funcionaria como uma camada absorvedora de tensões (Baroudi et al. 2007). Ainda são indicados como selantes de fósulas e fissuras, materiais para cimentação de brackets ortodônticos e facetas (Park et al. 2009), selador imediato de dentina após preparo para restaurações indiretas (Feitosa et al. 2010) e como material restaurador em cavidades pequenas e não submetidas à intensas tensões mastigatórias.

É importante realizar periodicamente a avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos, pois a cada ano novos materiais entram no mercado. Com os novos compósitos, novas tecnologias surgem e comportamentos diversos são encontrados entre os compósitos. A introdução de nanopartículas para melhor lisura superficial (Mitra et al. 2003), o surgimento de compósitos baseados em monômeros que se polimerizam através da abertura de uma cadeia carbônica cíclica, com conseqüente diminuição da contração volumétrica do compósito (Weinmann et al. 2005) e a introdução de

compósitos com substituintes para o BisGMA (Cramer et al. 2010, Moraes et al. 2010) na matriz orgânica são os alguns dos avanços recentes dos compósitos restauradores.

Clinicamente, os compósitos são submetidos à diferentes tensões. A tensão mais comum sobre uma restauração direta em compósito é a de compressão; no entanto também são encontradas tensões de flexão e, menos freqüentemente, tensões de tração. Maior dureza superficial propicia maior resistência ao desgaste e é indicativo de maior grau de conversão do compósito (Bouschlicher et al. 2004), o que gera um polímero mais resistente e tem relação direta com todas as propriedades mecânicas do material. Um polímero com alto grau de conversão é muito importante; entretanto compósitos com conversão semelhante podem apresentar cadeias mais lineares ou com maior densidade de ligações cruzadas entre essas cadeias, o que teoricamente promoveria melhores propriedades mecânicas e maior resistência ao desgaste e manchamento. A avaliação da densidade de ligações cruzadas pode ser feita de forma direta com análise da calorimetria durante a polimerização ou de forma indireta, por meio da avaliação da redução da dureza após imersão em etanol (Schneider et al. 2008). Assim, seria interessante avaliar algumas propriedades dos compósitos resinosos atualmente presentes no mercado odontológico brasileiro.

Proposição

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à flexão, compressão e coesiva, além da dureza Knoop e densidade de ligações cruzadas de três compósitos de alto escoamento e de sete compósitos resinosos convencionais, presentes atualmente no mercado odontológico brasileiro.

Materiais e Métodos

Os compósitos avaliados foram todos na cor A3 e estão descritos na Tabela 1, assim como a composição dos mesmos.

Tabela 1. Compósitos avaliados, composições, volume de carga.

Compósito (fabricante) <i>I Classificação</i>	Matriz Orgânica	Carga Inorgânica	% Carga (volume)
Filtek Z100 (3M ESPE, St. Paul, MN, USA) – <i>Híbrido</i>	BisGMA, TEGDMA, UDMA	Zircônia e sílica	61%
Charisma (Heraeus Kulzer, Wehrheim, Germany) – <i>Microparticulado</i>	BisGMA, TEGDMA	Vidro de Bário e Alumínio Fluoretado e Dióxido de Silício	61%
Opallis (FGM, Joinville, SC, Brasil) – <i>Microhíbrido</i>	BisGMA, BisEMA, TEGDMA	Vidro de Bário, Dióxido de Silício.	58%
Llis (FGM, Joinville, SC, Brasil) – <i>Microhíbrido</i>	BisGMA, BisEMA, TEGDMA	Vidro de Bário e Sílica	56-59%
Natural Look (DFL, Rio de Janeiro, Brasil) – <i>Microhíbrido</i>	BisGMA, BisEMA, TEGDMA	Vidro de Bário e Sílica Amorfa Hidrófoba	59%
Fill Magic (Vigodent, Rio de Janeiro, Brasil) – <i>Microhíbrido</i>	BisGMA, TEGDMA	Silicato de Bário e Alumínio e Sílica Priogênica	57%
TPH³ (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA) – <i>Microhíbrido</i>	BisGMA modificado, BisEMA, TEGDMA	Vidro de Bário, Sílica e Dióxido de Titânio	57%
Opallis Flow (FGM, Joinville, SC, Brasil) –	BisEMA, TEGDMA, UDMA	Vidro de Bário e Dióxido de Silício	53%

Microhíbrido

Fill Magic Flow	BisGMA, TEGDMA	Vidro de Bário	41%
(Vigodent, Rio de Janeiro, Brasil) – <i>Microhíbrido</i>		Fluoretado, Sílica	

Natural Flow	BisGMA, TEGDMA	Sílica sintética, Vidro de Bário	53%
(DFL, Rio de Janeiro, Brasil) – <i>Microhíbrido</i>			

*A cor escolhida para todos os compósitos será A3.

*BisGMA: bisphenol-A glycidyl dimethacrylate; BisEMA: bisphenol-A ethoxilated dimethacrylate; TEGDMA: triethylene glycol dimethacrylate; UDMA: urethane dimethacrylate.

Avaliações

Foram avaliados o módulo de elasticidade, a resistência à flexão, a dureza Knoop, a resistência à compressão, a resistência coesiva à tração e a densidade de ligações cruzadas dos compósitos supracitados.

Resistência à flexão de Três Pontos e Módulo Flexural

Foram confeccionados corpos-de-prova em forma de barra (2 mm largura x 2 mm espessura x 25 mm comprimento) por meio da inserção dos materiais em moldes pré-fabricados de silicona por adição, seguindo o protocolo da ISO 4049. A fotoativação dos compósitos foi realizada por 40 segundos com o aparelho LED Bluefase 2 (Ivoclar-Vivadent, irradiância 1200mW/cm²), deixando a ponta do aparelho fotoativador encostada em uma lamínula de vidro sobreposta ao material não polimerizado. Foram feitas 3 sessões de fotoativação ao longo do corpo-de-prova para assegurar a polimerização do compósito. Após, os corpos-de-prova foram cuidadosamente removidos do molde e avaliados em lupa estereoscópica, sendo descartados os que apresentaram defeitos. Para cada grupo, foram confeccionados dez corpos-de-prova (n=10), que foram armazenados por 24 horas em água destilada a 37°C. Após a armazenagem, foi avaliada a resistência à flexão de três pontos, com velocidade de 0,5 mm/min., em máquina universal de ensaios Instron (Modelo 4411, Corona, CA, USA). O teste de resistência à flexão foi monitorado pelo software Bluehill 2 (Instron Corporation, Canton, USA) presente em um computador acoplado à máquina de ensaio, que gerou um gráfico tensão x

deformação que permite a obtenção do módulo de elasticidade ou módulo flexural. Os valores foram submetidos à análise estatística (ANOVA e Teste de Tukey) com nível de significância de 5%.

Resistência Coesiva à Tração

Moldes de silicone para moldagem foram confeccionados em formato de ampulheta (2mm de altura, 8mm de longo eixo e 1,5mm na região de constrição). Os compósitos foram inseridos em cada molde, preenchendo-o completamente. A superfície do compósito foi coberta com uma tira de poliéster e pressionada com uma lamínula de vidro para retirar o excesso de compósito. O compósito foi fotoativado com o aparelho LED Bluephase 2 (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Após a fotoativação, as amostras em forma da ampulheta foram removidas dos moldes e polidas manualmente, sob irrigação, com lixas de carbeto de silício de granulação 400, 600 e 1200, no topo e na base. Para cada compósito foram confeccionadas 10 ampulhetas (n=10). Vinte e quatro horas após a fotoativação, as amostras foram fixadas a um aparato para teste de tração com cola de cianoacrilato (Super bonder gel, Loctite, Henkel Corp., Rocky Hill, CT, USA) e testados até a fratura sob tração em uma máquina de ensaio universal (EZ-test, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) com célula de carga de 500N, a uma velocidade de 0,5 mm/minuto. A área exata da seção transversal das amostras fraturadas foi mensurada com paquímetro digital. A resistência coesiva à tração (RCT) foi calculada pela divisão da força de fratura pela área da superfície e será expressa em MPa. Os valores foram submetidos à análise estatística (ANOVA e Teste de Tukey) com nível de significância de 5%.

Dureza Knoop

Para a análise da microdureza Knoop (DK), o topo e a base das amostras em ampulheta confeccionadas para o teste de resistência coesiva foram avaliados, antes de serem fixados no dispositivo da máquina de ensaios universal. Assim, após a polimerização, as amostras foram polidas como descrito acima e armazenadas em ambiente seco por 24 horas. Subseqüentemente, as medidas de DK foram feitas usando-se um microdurômetro (HMV-2, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) sob uma carga de 490 N (equivalente a 50gf), por 15 segundos. Assim, cinco leituras foram

feitas em cada superfície (topo e base) da amostra, previamente ao teste de resistência coesiva. O número de dureza Knoop (KHN, N/mm²) de cada amostra foi a média das cinco identações. Os dados foram submetidos à ANOVA dois-fatores e as médias ao teste de Tukey ($p < 0.05$).

Densidade de Ligação Cruzada

A avaliação da densidade de ligações cruzadas seguirá um protocolo previamente descrito (Schneider et al. 2008). As amostras em forma de ampulheta fraturadas na constrição usadas para o teste de resistência coesiva serão imersas em etanol absoluto (a 100%) por 24 horas. Posteriormente, serão novamente feitas medidas de dureza Knoop, da mesma forma como citado acima, nas superfícies de topo e base. Assim, a análise da densidade de ligações cruzadas será feita da forma indireta através da medida de redução de dureza após imersão em etanol. A porcentagem de redução de dureza será tomada como a unidade de medida de densidade de ligações cruzadas, sendo que quanto maior a porcentagem de redução de dureza, menor a quantidade de ligações cruzadas. Os dados foram submetidos à ANOVA dois-fatores e as médias ao teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resistência à Compressão

Amostras cilíndricas com diâmetro de 2 mm e altura de 4 mm foram confeccionadas com o auxílio de matrizes metálicas. Assim como para as outras avaliações, para a resistência à compressão, foram testadas 10 amostras ($n=10$) para cada compósito. O compósito foi inserido na matriz metálica e pressionado com tiras de poliéster e lamínulas de vidro para melhor acomodação no interior da matriz e escoamento dos excessos. Posteriormente, foram feitas duas fotoativações com o aparelho LED Bluephase 2 (Ivoclar) por 40 segundos e irradiância de 1200 mW/cm² nas duas superfícies planas das amostras. As amostras foram subsequentemente armazenadas por 24 horas em água destilada a 37° C. Após a armazenagem, foi avaliada a resistência à compressão, com velocidade de 0,5 mm/min., em máquina universal de ensaios Instron (Modelo 4411, Corona, CA, USA), posicionando-se as amostras de forma que a carga fosse exercida sobre o longo eixo das mesmas. Os

valores de resistência foram transformados em MPa e avaliados estatisticamente com ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados

Os resultados do teste de Dureza Knoop podem ser observados na Tabela 1. Os resultados de Resistência à Compressão estão sumarizados na Tabela 2. Os resultados de Resistência à Flexão de três pontos e Módulo de Elasticidade estão descritos na Tabela 3. Os resultados do teste de Resistência Coesiva estão apresentados na Tabela 4. Os resultados de densidade de ligações cruzadas podem ser observados na Figura 1. No geral, as resinas de baixa viscosidade apresentaram maior densidade de ligações cruzadas que as convencionais, exceto a Fill Magic Flow. Dentre as resinas convencionais a Natural Look foi a que demonstrou maior densidade de ligações cruzadas. Os resultados mostraram que no teste de dureza Knoop, Z100 obteve os maiores valores tanto no topo como na base enquanto as menores durezas foram detectadas com as resinas “flow” que foram significativamente iguais à resina Fill Magic. Também no teste de compressão, Z100 obteve os maiores resultados com similaridade estatística a Fill Magic, Llis e TPH. Natural Flow obteve os piores resultados no teste de compressão. Na análise de resistência à flexão, TPH e Z100 obtiveram as maiores resistências enquanto todas as outras resinas tiveram resultados semelhantes estatisticamente. O módulo de elasticidade maior foi com Z100 e os dois menores foram de Natural Flow e Fill Magic Flow. A resistência coesiva de TPH e Z100 foram maiores que a de Charisma e todas as outras resinas foram similares entre si.

Tabela 1. Valores médios (e desvios padrão entre parênteses) de Dureza Knoop (KHN).

Compósito	Dureza Topo	Dureza Base
Natural Flow	46,5 (4,3) F,a	37,3 (4,2) E,b
Fill Magic Flow	45,3 (2,4) F,a	41,1 (4,0) CDE,a
Opalis Flow	48,2 (3,9) F,a	38,0 (4,5) DE,b
Fill Magic	57,4 (4,7) EF,a	48,4 (5,7) CDE,b
Opalis	67,3 (8,2) DE,a	52,0 (7,7) BD,b
Charisma	72,2 (10,6) CD,a	52,8 (10,7) BC,b
Llis	82,2 (10,1) BC,a	63,6 (7,5) B,b
Natural Look	82,3 (8,8) BC,a	63,4 (13,6) B,b
TPH	88,0 (10,5) B,a	63,8 (10,9) B,b
Z100	140,9 (19,7) A,a	122,4 (12,2) A,b

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre as resinas e letras minúsculas diferentes mostram diferença significativa entre topo e base.

Tabela 2. Médias (Desvios Padrão) de Resistência à Compressão (MPa).

Compósito	Resistência à Compressão
Natural Flow	238,3 (27,5) E
Fill Magic Flow	285,6 (32,1) BCD
Opalis Flow	267,3(18,7) CDE
Fill Magic	319,3 (22,3) AB
Opalis	249,5 (18,6) DE
Charisma	295,5 (34,0) ABC
Llis	304,5 (20,2) ABC
Natural Look	286,1 (42,6) BD
TPH	327,0 (46,1) AB
Z100	336,1 (31,4) A

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre as resinas.

Tabela 3. Médias (Desvios Padrão) de Resistência à Flexão (MPa) e Módulo de Elasticidade (GPa).

Compósito	Resistência à Flexão	Módulo de Elasticidade
Natural Flow	116,3 (23,2) B	2,64 (0,36) EF
Fill Magic Flow	122,6 (22,3) B	2,48 (0,35) F
Opalis Flow	141,4 (7,6) B	3,39 (0,54) DE
Fill Magic	131,9 (18,3) B	3,9 (0,95) CD
Opalis	121,4 (14,0) B	4,6 (0,30) BC
Charisma	129,9 (10,1) B	4,0 (0,44) CD
Llis	142,1 (29,8) B	4,0 (1,25) CD
Natural Look	128,8 (15,8) B	4,9 (0,51) B
TPH	174,3 (20,3) A	4,5 (0,29) BC
Z100	173,7 (7,5) A	6,4 (0,39) A

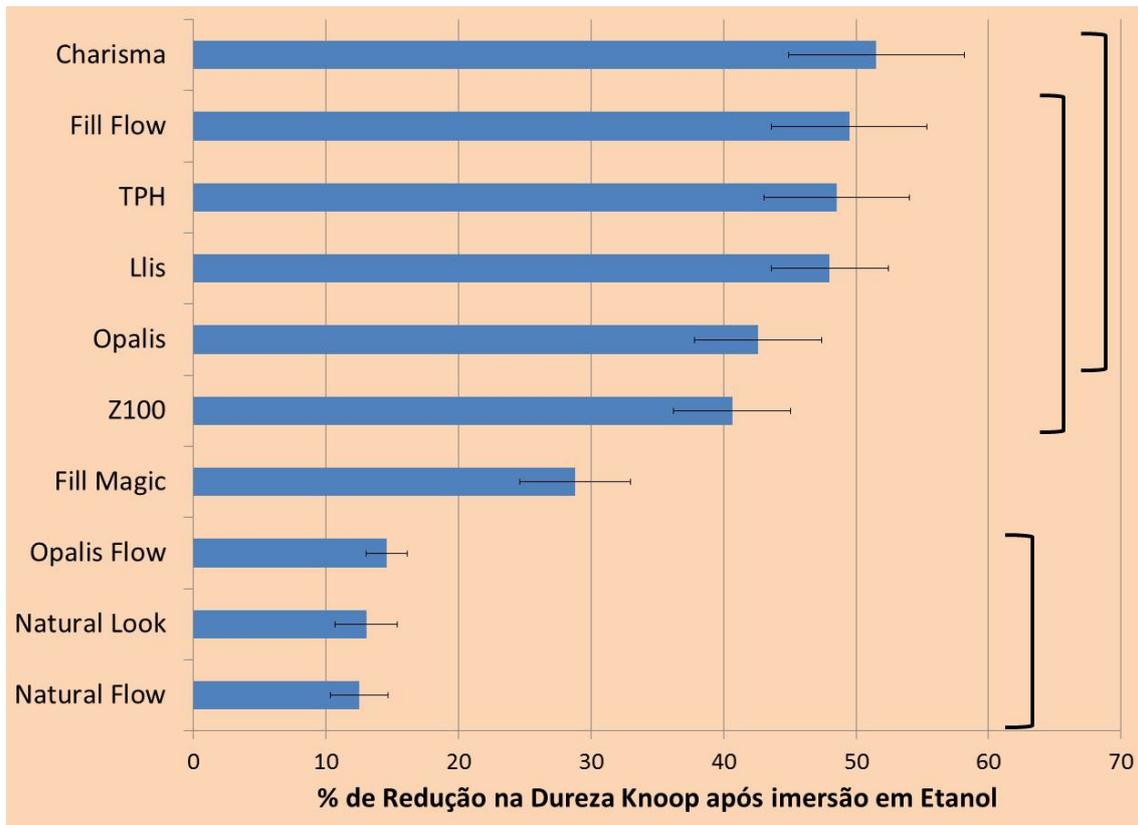
*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significante entre as resinas.

Tabela 4. Médias (Desvios Padrão) de Resistência Coesiva (MPa).

Compósito	Resistência Coesiva
Natural Flow	63,4 (11,1) AB
Fill Magic Flow	67,1 (21,6) AB
Opalis Flow	72,7 (17,3) AB
Fill Magic	68,2 (17,4) AB
Opalis	69,9 (16,0) AB
Charisma	48,7 (10,7) B
Llis	60,5 (17,1) AB
Natural Look	68,1 (15,4) AB
TPH	75,1 (26,1) A
Z100	74,9 (13,2) A

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significante entre as resinas.

Figura 1. Gráfico mostrando a densidade de ligações cruzadas das resinas.



- As resinas dentro do mesmo arco obtiveram resultado estatisticamente semelhante ($p > 0,05$). Maiores valores no gráfico indicam maior queda na dureza Knoop com a imersão por 24h em etanol absoluto. Em outras palavras, menores valores de indicam maior densidade de ligações cruzadas, pois houve menor redução de dureza.

Discussão

Com os resultados obtidos no estudo, pode se observar que o compósito resinoso Z100 obteve os maiores valores de resistência à compressão, tração, flexão, coesiva e dureza Knoop, entretanto no teste de densidade de ligações cruzadas ela se encontrou entre os melhores resultados. De modo contrário, os compósitos “flow” de baixa viscosidade obtiveram, em geral, menor dureza e resistência mecânica e maior densidade de ligações cruzadas.

Em relação aos compósitos de baixa viscosidade já era esperado os piores resultados quanto às propriedades mecânicas, pois o menor módulo de elasticidade característico desses materiais é obtido com a redução na porcentagem de

partículas de carga ou com o aumento da porcentagem de monômeros dimetacrilatos diluentes na fase orgânica (Cadenaro et al. 2009, Beun et al. 2012). Esses metacrilatos diluentes tem sua porcentagem aumentada enquanto dimetacrilatos de alta viscosidade com o BisGMA tem uma redução. Isso promove um maior grau de ligações cruzadas, pois o BisGMA é um dimetacrilato com cadeia muito extensa entretanto pouco flexível devido ao radical glicidil no centro da sua cadeia espaçadora (Stansbury 2012). Já os dimetacrilatos diluentes como o TEGDMA possuem maior flexibilidade de cadeia e conseqüentemente promovem mais ligações cruzadas. Na avaliação da densidade de ligações cruzadas foi visto exatamente esse comportamento para a maioria dos compósitos de baixa viscosidade, exceto para a resina Fill Magic Flow. Tal resina possui a estratégia alternativa (reduzir a porcentagem de partículas de carga) para reduzir a viscosidade do compósito (Tabela 1). A redução da porcentagem de partículas de carga faz com que a resina fique mais susceptível a degradação pelo etanol, pois a fase a ser degradada (fase orgânica) estará em maior quantidade na superfície dos compósitos com menos partículas de carga. Isso explica a maior redução na dureza da resina Fill Magic Flow (Figura 1).

De modo semelhante, a resina Charisma é o compósito que possui partículas com menor tamanho que diminui a fase orgânica por unidade de área mas com a degradação no etanol também ocorrem a solubilização e o desprendimento de partículas que torna a superfície do compósito mais irregular e aumenta as segundas leituras de dureza. Além disso, a resina Charisma demonstrou em estudos prévios que possui uma alta sorção de água (Anfe et al. 2011), o que está relacionado com menor densidade de ligações cruzadas e pode estar relacionado com maior sorção de etanol durante a imersão. Assim, o maior amolecimento da fase orgânica pode ocorrer promovendo maior redução na dureza como observado na Figura 1.

Os testes mecânicos em geral são extremamente úteis na odontologia atual, principalmente na ciência dos materiais dentários. Teoricamente, as resinas compostas, se bem manufaturadas, devem ter um comportamento isotrópico, ou seja, devem se comportar da mesma maneira e intensidade quando submetidas a diferentes tipos de tensões. Entretanto, os resultados observados nas Tabelas 2 a 4 mostram que principalmente as resinas Charisma e Natural Flow não possuem tal comportamento. Já que no teste de resistência a flexão e compressão Natural Flow

apresentou os piores resultados e no teste de resistência coesiva mostrou valores altos de resistência. Por outro lado, Charisma apresentou valores altos em resistência à compressão e baixos para resistência coesiva. Esse comportamento não isotrópico já foi observado em estudos anteriores mesmo para resinas recentemente lançadas no mercado (Feitosa et al. in press).

Os resultados do estudo podem auxiliar os respectivos fabricantes a alterar a composição dos compósitos para melhorar tanto a resistência mecânica quanto a densidade de ligações cruzadas. Uma idéia a ser adotada para esse propósito é a adição do monômero BisEMA (Moraes et al. 2010), o qual também pode ser utilizado em substituição ao BisGMA. Esse monômero inovador possui uma cadeia espaçadora maior, mais flexível e menos hidrofóbica que a do BisGMA. Isso promove tanto menor sorção de água e outros solventes ao compósito quanto maior densidade de ligações cruzadas sem a diminuição drástica do módulo de elasticidade (Gonçalves et al. 2009).

O módulo de elasticidade tem papel importante e merece especial atenção, pois está diretamente relacionado à geração de tensões provenientes da contração de polimerização. Hipoteticamente, dois compósitos com mesma contração volumétrica e diferentes módulos de elasticidade terão tensões de contração diferentes, sendo que o material com maior módulo de elasticidade irá induzir maiores tensões segundo a lei de Hooke (Cadenaro et al. 2009). Os compósitos de baixa viscosidade foram criados para fins de melhor manuseio e também com o objetivo de servirem como “liners” liberadores de tensões entre a parede cavitária e a resina convencional com maior módulo de elasticidade. Entretanto, um estudo recente (Cadenaro et al. 2009) mostrou que muitas resinas de baixa viscosidade não geram menores tensões que as convencionais e também algumas delas possuem módulo de elasticidade semelhante ao das resinas convencionais. De acordo com os resultados do presente estudo, somente a resina Natural Flow e Fill Magic Flow obtiveram módulos de elasticidade estatisticamente menores que os das resinas convencionais. Dessa forma, podemos concluir que essas duas resinas são as que se comportariam melhor para o propósito de aplicação como “liners” liberadores de tensões. Contudo, considerando a aplicação clínica das duas, a resina com menor susceptibilidade a amolecimento por solventes da dieta e com maior densidade de ligações cruzadas é a Natural Flow.

Conclusão

Através dos resultados observados no trabalho pode-se concluir que a resina Z100 possui as melhores propriedades mecânicas, enquanto as resinas de baixa viscosidade possuem maior densidade de ligações cruzadas, exceto a Fill Magic Flow. Em relação aos diversos testes das propriedades mecânicas conclui-se que a maioria das resinas não possuem um comportamento semelhante sob diferentes tensões e diversas melhorias podem ser realizadas de modo a melhorar as propriedades mecânicas em geral.

Referências

- Anfe T, Agra CM, Vieira GF. Evaluation of sorption, solubility and staining of universal and silorane resin-based composites. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2011;19:151-4.
- Baroudi K, Saleh AM, Silikas N, Watts DC. Shrinkage behavior of flowable resin-composites related to conversion and filler fraction. *J Dent* 2007; 35:651-655.
- Beun S, Bailly C, Devaux J, Leloup G. Physical, mechanical and rheological characterization of resin-based pit and fissure sealants compared to flowable resin composites. *Dent Mater* 2012;28:349-59.
- Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004; 29: 698-704.

- Cadenaro M, Marchesi G, Antonioli F, Davidson C, Dorigo E, Breschi L. Flowability of composites is no guarantee for contraction stress reduction. *Dent Mater* 2009; 25: 649-654.
- Cobb DS, McGregor KM, Vargas MA, Denehy GE. The physical properties of packable and conventional posterior resin-based composite: a comparison. *J Am Dent Assoc* 2000; 131: 1610-1615.
- Cramer NB, Couch CL, Schreck KM, Boulden JE, Wydra R, Stansbury JW, Bowman CM. Properties of methacrylate-thiol-ene formulations as dental restorative materials. *Dent Mater* 2010; 26: 799-806.
- Feitosa VP, Fugolin AP, Correr AB, Correr-Sobrinho L, Consani S, Watson TF, Sinhoreti MA, Sauro S. Effects of different photo-polymerization protocols on resin-dentine μ TBS, mechanical properties and cross-link density of a nano-filled resin composite. *Journal of Dentistry* 2012, in press. DOI: 10.1016/j.jdent.2012.05.014.
- Feitosa VP, Medina AD, Puppini-Rontani RM, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Effect of resin coat technique on bond strength of indirect restorations after thermal and loading cycling. *Bull Tokyo Dental Coll* 2010; 51:111-118.
- Gonçalves F, Kawano Y, Pfeifer C, Stansbury JW, Braga RR. Influence of BisGMA, TEGDMA and BisEMA contents on viscosity, conversion, and flexural strength of experimental resins and composites. *Eur J Oral Sci* 2009;117:442-6.
- ISO 4049. Dentistry polymer-based filling, restorative and luting materials. Geneva 2000.
- Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc* 2003; 134: 1382-1390.
- Moraes RR, Sinhoreti MA, Correr-Sobrinho L, Ogliari F, Piva E, Petzhold CL. Preparation and evaluation of dental resin luting agents with increasing content of bisphenol-A ethoxylated dimethacrylate. *J Biomater Appl.* 2010; 24: 453-473.
- Park S, Son W, Co C, Garcia-Godoy F, Park M, Kim H, Kwon Y. Influence of flowable resins on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Dent Mater J* 2009; 28: 730-734.

- Schneider LF, Moraes RR, Cavalcante LM, Sinhoreti MA, Correr-Sobrinho L, Consani S. Cross-link density evaluation through softening test: Effect of ethanol concentration. *Dent Mater* 2008; 24: 199-203.
- Stanbury JW. Dimethacrylate network formation and polymer property evolution as determined by the selection of monomers and curing conditions. *Dent Mater* 2012;28:13-22.
- Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dent Mater* 2005; 21:68-74.