CARLOS ALBERTO KENJI SHIMOKAWA

Comparação *in vitro* de parâmetros para fotoativação de restaurações em resina composta por meio de microdureza e microscopia eletrônica de varredura

São Paulo

2013

CARLOS ALBERTO KENJI SHIMOKAWA

Comparação *in vitro* de parâmetros para fotoativação de restaurações em resina composta por meio de microdureza e microscopia eletrônica de varredura

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, para obter o título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

Área de Concentração: Dentística

Orientador: Profa. Dra. Míriam Lacalle Turbino

São Paulo

2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação da Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Shimokawa, Carlos Alberto Kenji.
Comparação *in vitro* de parâmetros para fotoativação de restaurações em resina composta por meio de microdureza e microscopia eletrônica de varredura / Carlos Alberto Kenji Shimokawa; orientador Míriam Lacalle Turbino. -- São Paulo, 2013.
61 p.: il.: fig., tab. graf. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) -- Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração: Dentística. -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.
Versão corrigida

1. Restauração dentária. 2. Resinas compostas - Microdureza. 3. Polimerização – Odontologia. 4. Tensão dos materiais. 5. Microscopia eletrônica de varredura. I. Turbino, Míriam Lacalle. II. Título.

Shimokawa CAK. Comparação *in vitro* de parâmetros para fotoativação de restaurações em resina composta por meio de microdureza e microscopia eletrônica de varredura. Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Aprovado em: / /2013

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a)._____

Instituição: _____ Julgamento:_____

Prof(a). Dr(a)._____

Instituição: _____ Julgamento:_____

Prof(a). Dr(a)._____

Instituição: _____ Julgamento:_____

Dedico este trabalho aos meus pais, **Albertino** e **Vera**, que possibilitaram a realização desta conquista. São meus exemplos, tanto como pessoas, como profissionalmente, o que me motivou a seguir sua profissão. Sempre presentes, me incentivando e torcendo a cada vitória alcançada. Muito obrigado por todo o apoio e carinho!

Ao meu irmão, **Luís**, por sua amizade e apoio durante toda vida. Sei que sempre podemos contar um com o outro você para o que der e vier.

Aos meus familiares e amigos, que sempre torceram por mim e vibram a cada conquista realizada.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À minha orientadora **Profª. Drª. Míriam Lacalle Turbino**, por seus ensinamentos desde a graduação, passando por monitoria, iniciação científica e, enfim, o mestrado. Por sua amizade e pela confiança depositada em mim durante todo esse tempo. Por sua disponibilidade, atenção e dedicação na minha orientação. Agradeço pela oportunidade de ter sido seu orientado durante todo esse percurso. Muito obrigado!

"Muitos mestres passam por nossa vida,
mediando o conhecimento,
abrindo portas, mostrando caminhos!
Os anos passam...
O conhecimento é acumulado,
algum conhecimento esquecido,
outros ultrapassados,
mas os valores são eternos
e a lembrança de alguns mestres permanece."

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, na pessoa de seu diretor, Prof. Dr. Rodney Garcia Rocha.

À Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Dentística: Profa. Dra. Adriana Bona Matos, Profa. Dra. Ana Cecília Correa Aranha, Prof. Dr. Antonio Alberto de Cara, Prof. Dr. Carlos de Paula Eduardo, Profa. Dra. Eliza Maria Agueda Russo, Prof. Dr. Glauco Fioranelli Vieira, Profa. Dra. Márcia Martins Marques, Profa. Dra. Maria Angela Pita Sobral, Profa. Dra. Maria Aparecida Alves de Cerqueira Luz, Profa. Dra. Margareth Oda, Prof. Dr. Michel Nicolau Youssef, Prof. Dr. Narciso Garone Neto, Profa. Dra. Patrícia Moreira de Freitas e Prof. Dr. Rubens Côrte Real de Carvalho, por todos os ensinamentos e por terem participado da minha formação profissional.

Aos professores do Departamento de Biomateriais e Biologia Oral: Prof. Dr. Victor Elias Arana-Chavez e Prof. Dr. Walter Gomes Miranda Junior, por todo o auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Sheila e à Liz, do Laboratório de Caracterização Tecnológica, pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura.

A todos os colegas de pós-graduação, pelo convívio e momentos compartilhados.

À minha turma de pós-graduação: Adriano, Daniela, Milena, Paula, Talita e Tamile. Obrigado por tornarem esse curso mais agradável e divertido, por toda a

ajuda, por poder compartilhar com vocês todas as dificuldades e vitórias desta etapa. Torço muito por todos vocês!

Aos membros do time dureza: Paula e Tamile. Até me sinto um pouco paraense após tanto tempo de convívio. Obrigado por todas as risadas e momentos compartilhados.

Ao amigo Fernando Hanashiro, por toda a ajuda e incentivo para fazer o Mestrado, desde a época da graduação.

Às companheiras de Dentística Operatória: Alessandra, Ângela e Kátia. Obrigado por todas as conversas e ajuda durante o curso.

Aos funcionários do Departamento de Dentística, por toda a ajuda prestada.

À técnica do laboratório Soninha, por sua boa vontade e disposição em ajudar durante os experimentos deste trabalho.

Aos funcionários da biblioteca da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, por toda a ajuda na formatação do trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

“Quem ta junto na dureza
Com certeza tem valor”

Rumbora

RESUMO

Shimokawa CAK. Comparação *in vitro* de parâmetros para fotoativação de restaurações em resina composta por meio de microdureza e microscopia eletrônica de varredura [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2013. Versão Corrigida.

Este estudo *in vitro* teve como objetivo a comparação de diferentes protocolos para fotoativação de restaurações em resina composta por meio de teste de microdureza e análise da adaptação marginal com microscopia eletrônica de varredura. Foram confeccionadas restaurações de 2mmx4mmx2mm com a resina composta Premisa (Kerr) em 30 dentes bovinos. Durante o procedimento restaurador, o método de fotoativação teve variação, sendo um grupo ativado com o método contínuo (grupo controle) durante 20 segundos, utilizando o fotoativador Elipar Freelight 2; outro grupo utilizou o mesmo equipamento fotoativador, com variação da distância da ponta ativadora, a fim da promoção de um método *soft-start* (grupo *soft-start*), tendo distância inicial de 6mm por 20 segundos, seguido de distância mínima por mais 10 segundos; e um terceiro grupo utilizou a tecnologia PLS (grupo DEMI), fornecida pelo equipamento DEMI, que fornece uma luz pulsada e permite a polimerização adequada de uma resina composta em 5 segundos (segundo o fabricante). Após 24 horas de restaurados, mantidos em estufa a 37ºC, os dentes foram seccionados no sentido inciso cervical resultando em 60 corpos de prova, sendo metade deles utilizados em cada teste (N=10). As metades tiveram as superfícies correspondentes ao corte transversal lixadas até a obtenção de superfícies planas e polidas, sendo que 30 delas foram selecionadas aleatoriamente para o teste de microdureza Knoop em 3 diferentes profundidades e as outras 30 metades foram replicadas em resina epóxica para leitura em microscopia eletrônica de varredura. Com as imagens obtidas foram feitas medidas de porcentagem de perímetro de restauração com desadaptação marginal e largura da maior fenda encontrada. Foram aplicados testes estatísticos de análise de variância *split plot* para os resultados de dureza e *one way* para a adaptação marginal. Em relação à dureza, os testes mostraram não haver diferença estatisticamente significante entre os grupos avaliados, enquanto houve diferença nas diferentes profundidades ($p<0,0001$), sendo a dureza na região profunda maior do que na média, que foi maior do que na superficial. Para a

adaptação marginal, os testes não mostraram diferença estatisticamente significante para a largura de maior fenda encontrada entre os grupos controle e DEMI, somente o grupo *soft-start* foi diferente dos outros grupos (p=0,0064), tendo ele os menores valores. Apesar de a porcentagem de perímetro com desadaptação marginal ter apresentado valores com grandes valores de desvio padrão, foi encontrada diferença estatisticamente significante entre os grupos controle e DEMI, mas não entre os grupos DEMI e *soft-start*. O teste de correlação de Pearson demonstrou correlação linear positiva entre largura da maior fenda encontrada e porcentagem de perímetro com desadaptação marginal. Foi possível a conclusão de que o protocolo de fotoativação *soft-start* melhorou a adaptação marginal das restaurações em resina composta, sem alterar a dureza do material; o equipamento fotoativador DEMI, com a utilização da tecnologia PLS, teve resultados sem diferença estatisticamente significante na avaliação da adaptação marginal, quando comparados ao grupo controle; nenhum dos protocolos de fotoativação testados causou alteração na dureza da resina composta fotoativada, quando comparadas entre si, havendo aumento dessa propriedade conforme houve aumento da profundidade.

Palavras-chave: Restauração dentária. Resinas compostas - Microdureza. Polimerização - Odontologia. Tensão dos materiais. Microscopia eletrônica de varredura.

ABSTRACT

Shimokawa CAK. *In vitro* comparison of parameters for photoactivation of composite resin restorations using hardness and scanning electron microscopy [dissertation]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2013. Versão Corrigida.

This *in vitro* study aimed to compare different protocols for the photoactivation of composite resin restorations using microhardness test and analysis of marginal adaptation with scanning electron microscopy. Restorations with 2mmx4mmx2mm were made in 30 bovine teeth using the composite resin Premisa (Kerr). During the restorative procedure, the polymerization method had change, being one group activated with the continuous method (control group) for 20 seconds using the curing unit Elipar Freelight 2, another group used the same curing unit equipment, varying the distance from the activator tip in order to promote a *soft-start* method (*soft-start* group), with initial distance of 6mm for 20 seconds, followed by minimum distance for 10 seconds, and a third group used technology PLS (DEMI group) supplied from the DEMI, which provides a pulsed light and allows an adequate polymerization of a resin composite in 5 seconds (according to manufacturer). 24 hours after restoration, maintained at 37 ° C, the teeth were sectioned incisocervical towards resulting in 60 specimens, half of them being used in each test (N = 10). The halves were sanded on the transversal section surfaces to obtain flat and polished surfaces, of which 30 were randomly selected for Knoop microhardness testing in 3 different depths and the other 30 halves were replicated in epoxy resin for microscopy scanning electron reading. Measures of percentage of perimeter with marginal desadaptation and width of the largest slot found were made with the obtained images. *Split plot* analysis of variance tests were applied to hardness results and *one way* to the marginal adaptation. Regarding the hardness, tests showed no statistically significant difference among the groups, while there were differences at different depths ($p<0,0001$), being the hardness of the deep region highest than the medium, which was higher than the superficial. For marginal adaptation, tests showed no statistically significant difference for the width of the largest slot found between the control group and DEMI, only the soft-start group was different from the other groups ($p=0,0064$), having the lowest values. Despite the large standard deviations shown by the

percentage of perimeter with marginal desadaptation, statistically significant difference was found between the control and DEMI, but not between groups DEMI and *soft-start*. The Pearson correlation test showed positive linear correlation between the width of the largest slot found and the percentage of perimeter with marginal desadaptation. It was possible to conclude that the *soft-start* photoactivation protocol improved the marginal adaptation of composite resin restorations, without changing the hardness of the material; DEMI curing unit equipment, using PLS technology, showed no statistically significant difference in the evaluation of marginal adaptation, comparing with the control group; none of the protocols tested photoactivation caused change in hardness of composite resin when compared to each other, with an increase of this property as the depth increased.

Key-words: Dental restoration. Composite resins - Microhardness. Polimerization - Odontology. Materials strain. Scanning electron microscopy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Fator C	fator de configuração cavitária
gf	grama força
J/cm²	joule(s) por centímetro quadrado
LED	light emitting diode
M	molar
MEV	microscopia eletrônica de varredura
mJ/cm²	milijoule(s) por centímetro quadrado
mm	milímetro(s)
mW/cm²	miliwatt(s) por centímetro quadrado
nm	nanômetro(s)
PLS	periodic level shifting
RPM	rotações por minuto
s	segundo(s)
µm	micrômetro(s)

LISTA DE SÍMBOLOS

ºC	graus Celsius
%	porcentagem
nº	número
±	mais ou menos
NaClO	hipoclorito de sódio
HCl	ácido clorídrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
2 REVISÃO DA LITERATURA 18
3 PROPOSIÇÃO 26
4 MATERIAL E MÉTODOS 27
4.1 Preparo cavitário e procedimento restaurador 27
4.2 Fotoativação 29
4.3 Finalização dos Corpos de Prova 31
4.4 Teste de Microdureza 32
4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura 33
4.6 Análise estatística 36
5 RESULTADOS 37
6 DISCUSSÃO 48
7 CONCLUSÕES 53
REFERÊNCIAS 54
ANEXOS 61

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da Odontologia e dos materiais odontológicos, atualmente é possível atender à necessidade de pacientes cada vez mais exigentes, que buscam um tratamento restaurador estético.

A competência em reproduzir as estruturas dentárias, aliada à capacidade de adesão a elas, possibilitou o uso das resinas compostas em restaurações diretas, tanto em dentes anteriores, como em dentes posteriores.

Porém a busca dos profissionais de Odontologia por uma situação ideal das restaurações, com excelentes propriedades mecânicas, para suportar as cargas mastigatórias, e um selamento marginal adequado, para sua maior longevidade, sem possibilidade de infiltrações e cáries secundárias, parece estar longe do fim. Isso porque, embora a resina composta seja o material mais utilizado para esse tipo de tratamento, ainda se observa deficiências nele, principalmente em relação à contração que ocorre durante a reação de polimerização desse material.

Essa contração de polimerização causa uma tensão na interface entre dente e restauração que pode ocasionar a falha do procedimento restaurador.

Diante disto, autores vêm realizando estudos que visam a diminuição dessa tensão e das suas conseqüências, trazendo avanços tanto no material restaurador, com propriedades mecânicas aprimoradas e menor contração de polimerização, quanto nos equipamentos fotoativadores, cada vez mais potentes, possibilitando menor tempo de fotoativação e protocolos de fotoativação que visam a redução da tensão de polimerização.

O resultado desses avanços é uma variedade muito grande de materiais e equipamentos que podem ser utilizados para a confecção de restaurações em resina composta.

Em relação à resina composta, existem diversos tipos de carga, variações na matriz orgânica, utilização de técnica incremental ou *bulk*, e diferentes fotoiniciadores. Este último necessita de atenção especial por parte do cirurgião-dentista, já que possuem absorção de energia em comprimento de onda diferente da canforoquinona, fotoiniciador mais utilizado.

Em relação aos equipamentos fotoativadores, existem diferentes luzes halógenas e LEDs, diferentes intensidades de luz, comprimentos de onda, LEDs de primeira, segunda e terceira gerações.

Também existem diversos protocolos de fotoativação, desde os que preconizam a fotopolimerização da resina composta em apenas 5 segundos, até os chamados *soft-start*, que utilizam menor intensidade de luz inicial, seguida por uma intensidade de luz alta, visando a diminuição das tensões geradas durante a reação de polimerização.

Em meio a diversos equipamentos e protocolos de fotoativação de resinas compostas, são necessários estudos para que o cirurgião dentista, em sua prática clínica, possa optar pelo método mais adequado, possibilitando assim, restaurações com o melhor desempenho possível.

Dessa forma, o presente estudo *in vitro* se propôs a comparar diferentes protocolos de fotoativação de restaurações em resina composta, avaliando a dureza da resina composta e sua adaptação na cavidade por meio de teste de microdureza Knoop e microscopia eletrônica de varredura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A grande exigência por restaurações cada vez mais imperceptíveis fez com que os materiais odontológicos passassem por grande avanço, tornando possível a confecção de restaurações diretas em resina composta, inclusive em dentes posteriores (Van Nieuwenhuysen et al., 2003; Cetin et al., 2013).

Embora alguns estudos mostrem a superioridade de restaurações em amálgama para dentes posteriores (Van Nieuwenhuysen et al., 2003; Bernardo et al., 2007), existem estudos recentes que mostram resultados positivos em relação à longevidade de restaurações em resina composta, quando comparadas com restaurações em amálgama (Opdam et al., 2007).

As principais causas de falhas observadas no procedimento restaurador com resina composta são provenientes da fratura do material restaurador e de cárie secundária. (Mjör et al., 2002; Opdam et al., 2007; Da Rosa Rodolpho et al., 2011), sendo que essas falhas são agravadas quando há a necessidade da realização de restaurações extensas (Van Nieuwenhuysen et al., 2003; Bernardo et al., 2007).

As fraturas da resina composta podem ser acentuadas por uma polimerização inadequada, com menores graus de conversão, o que resulta em propriedades mecânicas inferiores (Ferracane, 2013). A cárie secundária é agravada pela tensão gerada pela contração de polimerização, sendo que, após a formação de uma fenda entre dente e restauração, é possível a infiltração de microorganismos que podem gerar lesões de cárie nas margens da restauração (Totiam et al., 2007; Nassar; González-Cabezas, 2011).

A contração de polimerização é um processo inerente à reação de polimerização e acontece devido à conversão de monômeros da matriz orgânica em polímeros, sendo que, durante essa conversão, ocorre uma aproximação desses monômeros, fazendo com que ao final da reação, eles ocupem um volume menor do que o inicial. Essa contração causa uma tensão na interface dente-restauração, podendo fazer com que ela se solte das paredes da cavidade e, com o tempo, permita a microinfiltração de fluidos bucais e microorganismos ao longo de suas margens, ou transmita a tensão gerada para a estrutura dentária, causando uma deflexão nas cúspides do dente, ou até a sua fratura (Anusavice, 2005; Reis; Loguercio, 2007).

Ferracane (2005), em uma revisão de literatura abordou aspectos que podem influenciar na tensão de polimerização e métodos que podem promover a redução dessa tensão. Afirmou existirem fatores dependentes da polimerização do material, como a técnica de inserção do material, o controle da cinética de polimerização, o fator C e a taxa de polimerização; e fatores dependentes da formulação do material, como a inserção de carga, a inserção de diferentes cadeias orgânicas, a interação entre a matriz orgânica e a carga, e a concentração de catalisadores e inibidores.

Outras revisões de literatura também identificaram tais fatores como influentes na tensão gerada durante a contração de polimerização (Braga et al., 2005; Ferracane, 2008). São citados também métodos para diminuir a chance de falhas geradas em decorrência dessa tensão, sendo um desses métodos a variação do protocolo de fotoativação (Ferracane, 2008; Malhotra et al., 2010).

Em relação à variação dos protocolos de fotoativação, alguns autores vêm estudando métodos que visam um processo de polimerização mais lento, podendo evitar possíveis falhas no procedimento restaurador, graças ao alívio das tensões durante a sua reação de polimerização (Cunha et al., 2007; El-Korashy, 2010; Knezevic et al., 2010; Leprince et al., 2010; Sudheer; Manjunath, 2011; Oliveira et al., 2012b).

A redução na intensidade da luz usada na fotoativação causa a diminuição na velocidade de conversão de monômeros em cadeias de polímeros, aumentando a chamada fase pré-gel da resina. Nesta fase, existe a possibilidade de a resina composta se deformar plasticamente, podendo escoar para compensar a contração do material e aliviar as tensões geradas, o que melhora a adaptação da resina e diminui as infiltrações nas margens das restaurações (Bouschlicher; Rueggeberg, 2000; Lim et al., 2002).

Assim sendo, a fase pré-gel deveria se estender ao máximo durante a reação de polimerização, para que grande parte da contração gerada durante esse processo pudesse ocorrer com o material em um estado não rígido, permitindo a dissipação das tensões geradas. Dessa forma, somente as tensões desenvolvidas decorrentes de pequena parte da contração que acontecesse na fase pós-gel deveriam ser efetivamente levadas em conta (Feilzer et al., 1990; Dauviller et al., 2000).

Pode-se obter esse efeito com aparelhos fotoativadores do tipo *soft-start*, que emitem uma luz de menor intensidade para que o início da reação seja mais lento,

com o intuito de aumentar a fase pré-gel do compósito. Em seguida, para complementar a fotoativação, esses aparelhos emitem uma intensidade de luz final alta. O objetivo desse aumento na intensidade é de aumentar o grau de conversão do compósito e melhorar suas propriedades mecânicas (Mehl et al., 1997; Braga et al., 2005).

Alguns autores comprovaram o efeito da técnica *soft-start*, mostrando que houve diminuição das tensões de contração ou das fendas marginais, que causariam as microinfiltrações, sem haver diminuição das propriedades físicas dos compósitos, já que o aparelho proporciona uma polimerização final com alta intensidade de luz (Mehl et al., 1997; Cunha et al., 2007; El-Korashy et al., 2010).

Poggio et al. (2012) estudaram a microdureza Vickers variando o método de fotoativação: contínuo 20s, contínuo 40s e *soft-start* 40s. Em seus resultados também não encontraram diferenças estatisticamente significantes, chegando à conclusão de que a eficiência de fotopolimerização não foi afetada pelo modo *soft-start*.

Entretanto, um estudo de Lu et al. (2005) avaliou o grau de conversão e a tensão de contração de uma resina composta fotoativada com 3 diferentes protocolos: *soft-start*, *pulse delay* e contínuo. Os resultados mostraram que os métodos *soft-start* e *pulse delay* diminuíram tanto estresse de contração como o grau de conversão, quando comparados ao método contínuo. Concluíram que essa diminuição no estresse aconteceu devido a uma leve diminuição no grau de conversão da resina estudada.

Existem ainda autores que não observaram diferença significativa em relação à microinfiltração de restaurações em resinas compostas fotoativadas utilizando o método de polimerização *soft-start* e o contínuo (França et al., 2005; Cunha et al., 2006; Jorge et al., 2008).

Uma possível causa dessa variação dos resultados entre diferentes pesquisadores pode ser o fato de que, em cada estudo, diferentes tempos e intensidades de luz foram utilizados para os métodos de polimerização, assim como diferentes testes foram utilizados para a avaliação das restaurações (Cunha et al., 2006). Outra possível causa dessa variação consiste na idéia de que os efeitos de extensão da fase pré-gel dos aparelhos que promovem ativação progressiva podem não ter sido alcançados devido à intensidade de luz inicial não ter sido baixa o suficiente para promover um aumento da fase pré-gel (França et al., 2005), ou por

um período com intensidade de luz inicial muito curto, havendo uma mudança de intensidade de forma muito rápida, o que impediria que o material tivesse tempo o suficiente para escoar e evitar as microinfiltrações (Jorge et al., 2008).

Hardan et al. (2009) realizaram um estudo comparando alguns protocolos de fotoativação progressiva e método contínuo, por meio de microinfiltração em restaurações classe II. Só observaram diferença estatisticamente significante quando foi comparado o grupo que utilizou o método contínuo (20 segundos com 700 mW/cm²) com o grupo que utilizou o método denominado *slow and gradual* (4 minutos com intensidade progressiva que alcançava até 700 mW/cm²).

Alguns autores também estudaram a força de adesão quando os métodos de fotoativação progressiva foram utilizados, sendo encontrados resultados semelhantes (Feitosa et al., 2012) ou inferiores ao método de fotoativação contínuo (Shafiei et al., 2009).

Além da técnica de fotoativação, o profissional deve conhecer as propriedades do material que está sendo utilizado, já que as diferentes resinas compostas apresentam diversas composições, alterando sua contração de polimerização e também a densidade de energia necessária para alcançar um grau de conversão ideal (Rueggeberg; Swift Jr, 2013).

Outro ponto para o qual os cirurgiões-dentistas devem atentar é o tipo de aparelho fotoativador, já que existem luzes com comprimentos de onda que não são capazes de sensibilizar certos fotoiniciadores utilizados atualmente. O Lucerin TPO, por exemplo, utilizado em resinas compostas para dentes clareados, possui absorção significante com comprimentos de onda abaixo dos 400nm, enquanto os aparelhos LED convencionais fornecem um comprimento de onda por volta dos 470nm (Neumann et al., 2005; Rueggeberg, 2011).

Estudos têm avaliado a influência do fotoiniciador na polimerização de resinas compostas (Oliveira et al., 2012a; Santini et al., 2012), sendo que o fotoativadores LED de terceira geração, os chamados Polywaves, quando comparados com os de segunda geração, apresentaram melhores graus de conversão em resinas que utilizam o Lucerin TPO como fotoiniciador, porém não houve diferença em resina sem esse fotoiniciador (Santini et al., 2012; Araújo, 2013).

Existem algumas revisões de literatura que observaram avanços tanto em relação às resinas compostas (Ferracane, 2011; Leprince et al., 2013), como em relação aos equipamentos fotoativadores (Jiménez-Planas et al., 2008; Jandt; Mills,

2013), e mostram a possibilidade de melhora na qualidade das restaurações em resina composta e a possibilidade da confecção destas em um menor tempo de trabalho.

Atualmente, o tempo necessário para fotoativação de uma resina composta é cada vez menor, existindo equipamentos que conseguem um grau de conversão aceitável com apenas 5 segundos de exposição à luz (segundo o fabricante). Porém quanto mais rápido o processo de polimerização, menor a possibilidade de escoamento da resina composta durante a fase pré-gel, o que aumentaria as tensões resultantes da contração de polimerização (Ferracane, 2008).

Embora um estudo recente tenha obtido melhores valores de dureza quando comparado o fotoativador de alta intensidade com outros fotoativadores LED (El-Shamy; El-Mowafy, 2009), outros estudos mostraram que esse tempo de 5 segundos, recomendado pelo fabricante, não é suficiente para a polimerização adequada de uma resina composta (Rueggeberg et al., 2009; Busemann et al., 2011).

Em um estudo recente, Ilie et al. (2011) testaram a relevância do conceito de fotoativação *soft-start* realizada com os fotoativadores atuais. Encontraram resultados que comprovaram a relevância desse conceito, mesmo utilizando fotoativadores LED de alta potência, havendo redução na contração de polimerização e manutenção, tanto do grau de conversão, como das propriedades mecânicas de uma resina composta ativada com menor intensidade de luz inicial. Entretanto o grau de conversão diminui quando utilizado o *soft-start* em profundidades de 6mm.

O método de fotoativação *soft start* também pode ser conseguido por meio da variação da distância entre a ponta do fotoativador e a restauração, já que com o aumento dessa distância, há uma diminuição da intensidade da luz que chega à resina composta (Rode et al., 2007; Thomé et al., 2007; Fróes-Salgado et al., 2009).

Price et al. (2000) estudaram a redução da intensidade de luz quando ocorre o aumento da distância entre a ponteira do fotoativador e a resina composta, chegando ao resultado de uma redução de luz em 66% , quando essa distância é de 7mm. Esse aumento da distância causa também uma polimerização mais lenta com uma intensidade de luz inicial mais baixa, o que pode prolongar a fase pré-gel do compósito, permitindo o escoamento da resina e liberação da tensão provocada pela contração.

Após a polimerização inicial, aplica-se novamente a luz a uma distância mínima, para promover a polimerização final, com alta intensidade de luz, para que não sejam alteradas as propriedades mecânicas da resina.

Assim, o método de variação da distância pode fazer com que haja maior controle tanto sobre a intensidade inicial da luz, como sobre o tempo dessa polimerização inicial, já que se pode modificar a intensidade de luz inicial variando a distância da ponta do fotoativador, além de poder controlar o tempo da fotoativação inicial, podendo variar da distância inicial para a distância mínima, e conseqüentemente intensidade máxima, a qualquer momento.

Existe dificuldade na definição dos tempos de fotopolimerização, havendo autores que encontraram semelhança no grau de conversão de resinas compostas fotoativadas com densidade de energia constante, alterando somente tempo de exposição e intensidade de luz, o que mostrou uma relação de reciprocidade entre esses fatores (Halvorson et al., 2002; Emami et al., 2003).

Entretanto, existem pesquisas que encontraram diferenças no grau de conversão quando houve alteração na intensidade de luz e tempo de exposição, mesmo com a manutenção da densidade de energia (Peutzfeldt; Asmussen, 2005; Leprince et al., 2011).

A divergência entre estudos pode ser explicada, já que a chamada lei de reciprocidade depende de vários fatores, como a composição e viscosidade do material, sendo que essa lei pode ser válida para algumas resinas, enquanto para outras não (Hadis et al., 2011).

Para avaliar a eficiência de métodos de fotoativação, são necessárias as análises tanto do grau de conversão da resina composta após sua polimerização, como da contração gerada por essa reação, sendo os testes de microdureza e a observação da adaptação marginal válidos para tais análises (Ferracane, 2013).

A adaptação marginal pode ser analisada através de MEV, sendo que os estudos que visam esse tipo de análise utilizam réplicas de resina epóxica, a fim de evitar possíveis artefatos gerados durante a preparação para esse tipo de microscopia. (Jorgensen; Hisamitsu, 1984; Takahashi et al., 2010; Bortolotto et al., 2013; Casselli et al., 2013)

Em seu estudo, Lopes et al. (2004) verificaram o efeito da técnica de inserção da resina composta sobre a interface dente-restauração *in vivo*. Para tanto, restauraram pré-molares indicados para exodontia por motivos ortodônticos e, após

a extração, observaram essa interface em microscopia eletrônica de varredura. Para a remoção da *smear layer*, que poderia impossibilitar a análise, utilizaram um preparo dos espécimes com ácido clorídrico e hipoclorito de sódio. Após o preparo fizeram réplicas dos corpos de prova em resina epóxica e conseguiram visualizar fendas formadas.

Alani e Toh (1997) realizaram uma revisão sobre detecção de microinfiltração ao redor de restaurações. Observaram que o uso de microscopia eletrônica de varredura permite uma visualização direta da adaptação de materiais restauradores com as margens das cavidades devido à sua alta magnificação e profundidade de foco. Porém apresenta deficiências como seu potencial de levar a erros e artefatos gerados durante seu preparo. As MEVs podem ser aprimoradas com o uso de réplicas, sendo que elas podem ser repetidas durante diferentes momentos do experimento e não alteram as estruturas avaliadas, evitando possíveis artefatos ou distorções inerentes ao preparo dos espécimes.

Ulusu et al. (1996) compararam a adaptação marginal de dois materiais para base fotoativadas em MEV, com a utilização de técnica direta e a técnica de réplica. Quando a superfície dos dentes foi avaliada diretamente, apareceram fendas na interface entre dente e restauração que não apareceram quando as réplicas foram avaliadas. Concluíram que essas fendas provavelmente foram decorrentes dos preparos necessários para a realização da técnica direta de MEV, sendo elas fendas falsas.

Hannig e Friedrichs (2001) estudaram a adaptação marginal na interface entre dentina e resina composta de restaurações confeccionadas *in vivo* e *in vitro* no mesmo elemento dental. Os corpos de prova foram seccionados para análise em MEV, e a freqüência de formação de fendas foi observada. Uma correlação positiva entre as fendas formadas *in vitro* e *in vivo* foi constatada, sendo concluído que restaurações livres de fendas não são comuns, tanto *in vitro* como *in vivo*.

O estudo do grau de conversão é usado em muitos estudos para a avaliação da qualidade de polimerização de resinas compostas, sendo associado a propriedades mecânicas do material (Sakaguchi; Berge, 1998; Durner et al., 2012; Catelan et al., 2013).

A dureza do material é uma propriedade freqüentemente utilizada para a mensuração indireta do grau de conversão dele, sendo que ao observar um mesmo

material, valores de dureza maiores correspondem a maiores níveis de conversão (Rode et al., 2009; Turbino et al., 2011).

Os testes de dureza devem ser realizados depois de ao menos 24 horas da fotoativação da resina composta, já que durante esse tempo, os valores de dureza aumentam, podendo influenciar nos resultados (Turbino et al., 1993).

O grau de conversão possui uma correlação linear positiva com o valor de dureza, porém essa relação só é encontrada quando comparada uma mesma resina composta, não sendo possível a comparação entre diferentes materiais (Ferracane, 1985; Rode et al., 2009).

Em seu estudo, Bouschlicher et al. (2004) observaram a microdureza Knoop e o grau de conversão da superfície de topo e fundo de corpos de prova de 1mm, 2mm e 3mm, confeccionados com diferentes resinas compostas. Chegaram à conclusão de que esse tipo de dureza pode ser utilizado para testar a adequada polimerização de uma mesma resina em diferentes profundidades.

Portanto, dentro da necessidade de uma análise multifatorial e da consciência da dificuldade de prever o sucesso clínico de restaurações em resina composta através de estudos *in vitro*, a avaliação da dureza e da adaptação marginal se complementam e podem ser utilizados para avaliar a qualidade de polimerização de uma resina composta utilizada em uma restauração (Ferracane, 2013). Isso estimulou este estudo, que avaliou protocolos para fotoativação de uma restauração em resina composta. A técnica de fotoativação contínua, mais comumente utilizada foi comparada ao método *soft-start*, que promoveria uma diminuição nas tensões e polimerização, e à tecnologia PLS, um método atual, que tem como objetivo a diminuição do tempo necessário para a polimerização da resina composta.

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo desse estudo *in vitro* foi avaliar diferentes parâmetros de fotoativação e compará-los com o método contínuo do fotoativador LED Elipar Freelight 2 (3M ESPE; St. Paul, MN, USA) ,utilizando tempo de 20s e intensidade aproximada de 1000mW/cm². Esses parâmetros foram:

- fotoativação através da tecnologia Periodic Level Shifting (PLS), que propõe um tempo de 5s, com pulsos que variam a intensidade de 1100 a 1330mW/cm² a cada segundo;

- protocolo do modo *soft-start* variando a distância da ponta do fotoativador.

Para essa avaliação foram analisadas as falhas ou fendas na interface dente/restauração com auxílio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microdureza transversal das restaurações de resina composta.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi submetido ao Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, sendo considerado isento de análise por utilizar dentes bovinos, conforme anexo A.

4.1 Preparo cavitário e procedimento restaurador

Para este trabalho foram utilizados 30 dentes bovinos, com os quais foram obtidos 60 corpos de prova. Os dentes foram limpos com curetas periodontais, pedra pomes e água asssociados a uma escova de Robson em baixa rotação, lavados abundantemente e armazenados em água destilada. Tiveram suas raízes retiradas com auxílio de um disco diamantado sob refrigeração constante, acoplado à máquina de corte Isomet 1000 (Buehler Ltd; Lake Bluff, IL, USA). Passaram por planificação de sua face vestibular, para remoção da camada mais superficial do esmalte e remoção de possíveis irregularidades, e foram confeccionados preparos cavitários com 2x4x2mm em sua face vestibular, na região a uma distância de 2mm da junção amelo-cementária, utilizando um instrumento abrasivo diamantado (IAD) nº1090 (KG Sorensen; Cotia, SP, Brasil) em alta rotação, sob refrigeração de ar e água (Figura 4.1).

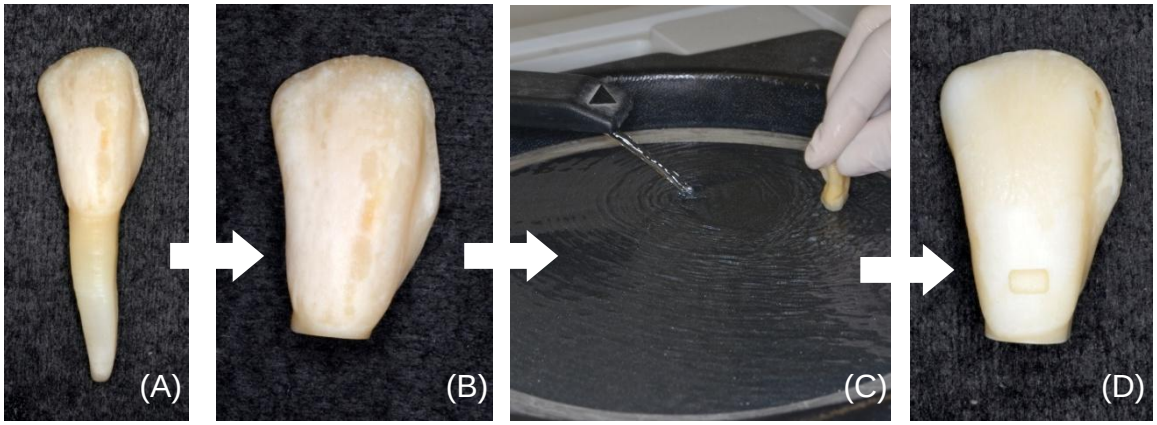

Figura 4.1 – Sequência do preparo dos dentes. A- Dente bovino limpo. B- Dente com sua raíz retirada. C- Planificação da face vestibular. D- Dente com o preparo cavitário realizado

Para a padronização dos preparos, foi confeccionado um padrão com silicone de condensação nas medidas especificadas, que foi utilizado como um limitador para demarcação do preparo.

A profundidade foi padronizada com uma marcação feita na ponta diamantada, conforme figura 4.2.

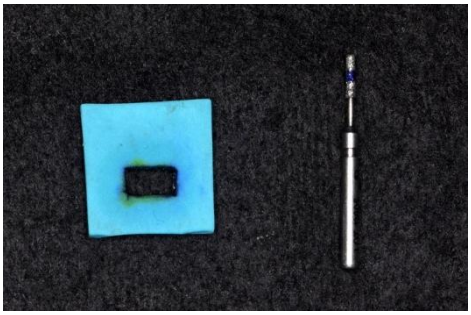

Figura 4.2 – Padrão de silicone usado na demarcação do preparo e ponta diamantada com a marcação feita

Após o preparo, foi realizada profilaxia da cavidade com pedra pomes e água associada a uma escova de Robson, seguida de lavagem abundante, e limpeza com detergente aniônico, seguido de outra lavagem.

Em seguida, foi aplicado o sistema adesivo de frasco único OptiBondS (Kerr Co.; Orange, CA, USA) de acordo com as especificações do fabricante, com aplicação de gel de ácido fosfórico a 35% (3M ESPE; St. Paul, MN, USA) em esmalte e dentina durante 15 segundos, seguido de lavagem pelo mesmo tempo e leve secagem. Depois foi feita aplicação ativa do adesivo por 15 segundos e foi aplicado um leve jato de ar por 3 segundos, seguido de fotoativação por 20 segundos.

Para a restauração foi usada a resina nanohíbrida Premisa (Kerr Co.; Orange, CA, USA), cuja composição está demonstrada no quadro 4.1, com sua inserção na cavidade auxiliada por uma espátula de inserção antiaderente Suprafill nº1 (Duflex, SS White; Rio de Janeiro, RJ, Brasil), utilizando a técnica incremental, com 3 incrementos oblíquos por restauração.

Material	Fabricante	Composição
Resina composta: Premisa	Kerr	- Matriz BisGMA, Bisfenol-A-dimetacrilato Etoxilado e Dimetacrilato de trienilo glicol (TEGDMA). - Carga vidro de bário Aluminoborossilicato com nanocarga de sílica (84%)
Adesivo: Optibond S	Kerr	BIS-GMA, HEMA, GDM, GPDM, etanol, sílica, canforoquinona, vidro de bário (15%)

Quadro 4.1 – Composição da resina composta e do adesivo.

Os materiais utilizados na confecção das restaurações estão demonstrados na figura 4.3.

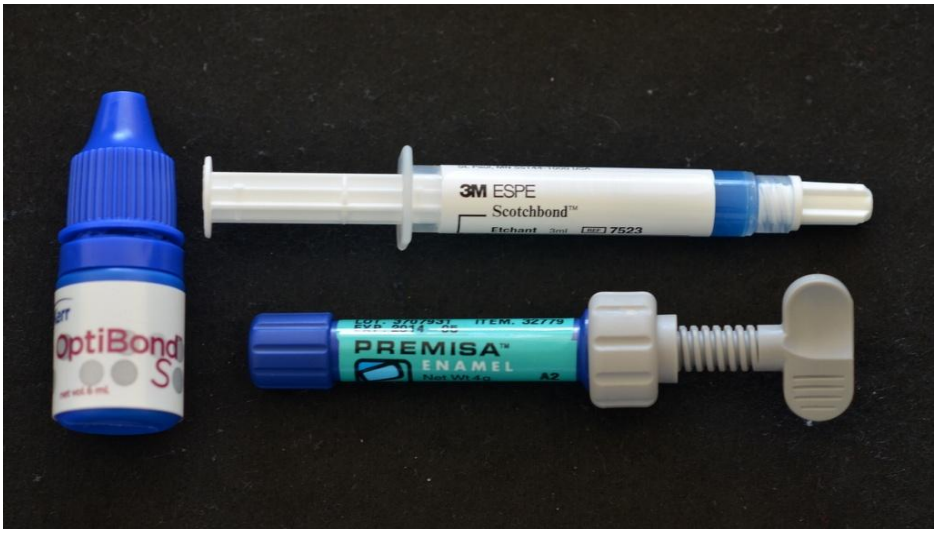

Figura 4.3 – Materiais utilizados na confecção das restaurações

4.2 Fotoativação

Para a fotoativação das restaurações dos grupos controle e soft-start, foi utilizado o fotoativador Elipar Freelight 2, que possui comprimento de onda entre 430

e 480nm e possibilita a entrega de uma luz contínua, com intensidade de aproximadamente 1000mW/cm² (segundo o fabricante).

Para a fotoativação do grupo DEMI, foi utilizado o fotoativador DEMI que possibilitou uma técnica de luz pulsada, chamada de PLS (Periodic Level Shifting), com intensidade que varia de 1100 a 1330mW/cm³ a cada segundo de fotoativação (segundo o fabricante), com comprimento entre 450 e 470nm.

A técnica de fotoativação variou de acordo com os grupos, conforme tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Tipos de fotoativação que serão utilizados

GRUPO 1 (Controle)	Fotoativação convencional – 20s
GRUPO 2	Inicial: distância – 6mm tempo -20s
GRUPO 3	PLS (Periodic Level Shifting) – 5s

No grupo 3, para ser aplicada uma menor intensidade de luz inicial, a ponta do fotoativador foi mantido na distância de 6mm, durante o tempo que foi estabelecidos de acordo com a densidade de energia obtida no grupo controle e auxilio do radiômetro LED Radiometer (SDI; Bayswater, Victoria, Australia), sendo o tempo definido a fim de que a densidade de energia final obtida seja igual nos grupos 1 e 2.

A intensidade de energia do fotoativador Elipar Freelight 2 medida no radiômetro foi de 1030mW/cm², calculando-se uma densidade de energia de 20600mJ/cm² no grupo controle.

Para obtenção da mesma densidade de energia no grupo soft-start, foi realizado o cálculo da energia obtida durante os 10 segundos finais de fotoativação em contato, sendo o resultado de 10300mJ/cm². Com o distânciamento de 6mm da ponta ativadora, a intensidade de luz caiu para 520mW/cm², sendo então necessários 20 segundos de fotoativação nessa distância para completar os 10300mJ/cm² necessários para que se equiparasse com a densidade de energia do grupo controle.

Para a padronização das distâncias de fotoativação inicial do grupo 3, foi confeccionado um padrão com silicone de condensação, com altura de 6mm e uma perfuração interna central para permitir a passagem da luz. A ponta do fotoativador

foi apoiada sobre o padrão que, por sua vez, foi apoiado sobre os dentes (Figura 4.4).

Após a aplicação da luz inicial, foi realizada a fotoativação final, utilizando uma distância mínima, com a ponta do fotoativador em contato com os corpos de prova, durante 10 segundos.

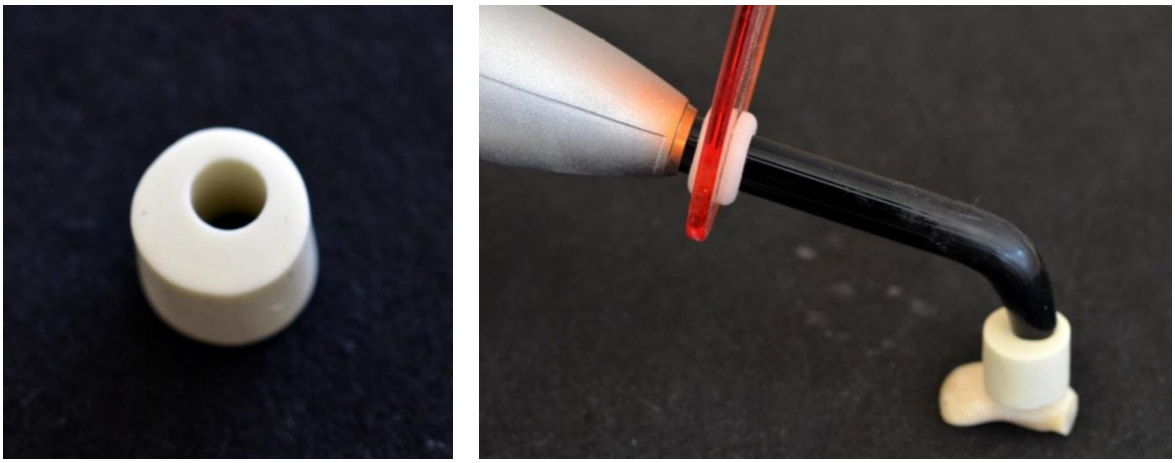

Figura 4.4 – Padrão de silicone utilizado na padronização da distância de 6mm e modo como este foi utilizado

4.3 Finalização dos Corpos de Prova

Após 24 horas da obtenção dos dentes restaurados, com o armazenamento em estufa a 37ºC, estes foram cortados no sentido inciso-cervical, em um equipamento para corte de dentes Isomet 1000, utilizando um disco diamantado sob refrigeração, até obtenção de dois corpos de prova por dente, um mesial e outro distal, sendo que cada metade foi submetida a um teste diferente (microdureza e microscopia eletrônica de varredura).

Em seguida, as duas metades obtidas foram lixadas na superfície do corte transversal, onde foram feitas as leituras de microscopia e microdureza, com lixas de carboneto de silício, em granulações decrescentes: 400, 600, 800, 1000, 1200 e 4000, sob refrigeração com água, adaptadas a uma politriz Ecomet 3 (Buehler Ltd; Lake Bluff, IL, USA), durante 30 segundos por lixa e velocidade de 160 RPM, com lavagens em cuba ultrassônica entre os processos, e pasta diamantada de 3µm

associada a um disco de feltro por 1 minuto na mesma velociade, para obtenção de superfície plana e polida (Figura 4.5).

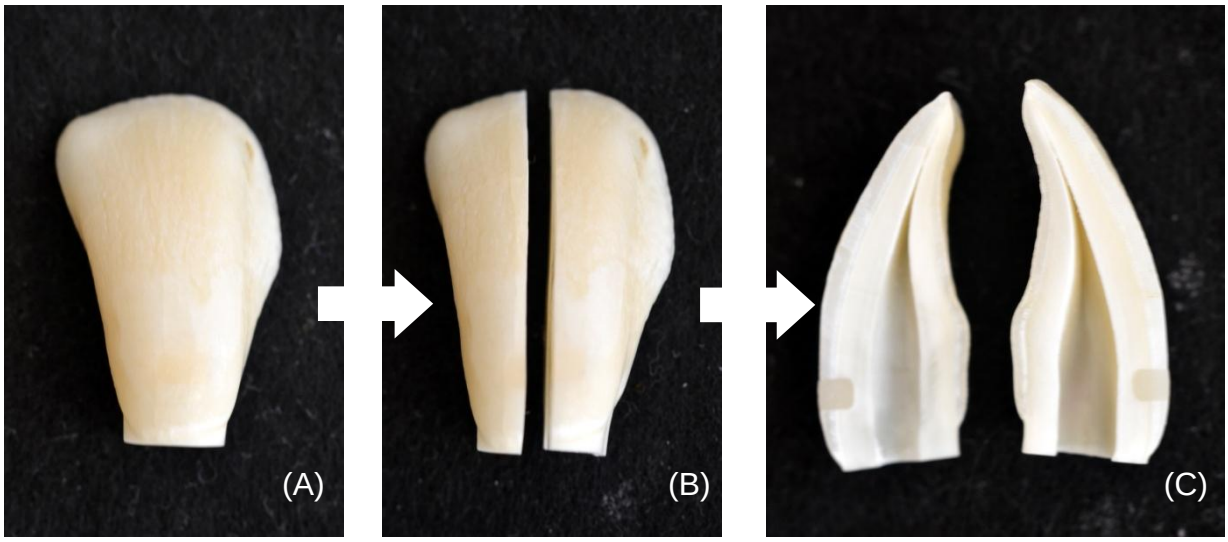

Figura 4.5 – Finalização dos corpos de prova. A – Dente restaurado. B – Dente com corte inciso-cervical realizado, gerando dois corpos de prova, um mesial e outro distal. C – Duas metades do mesmo dente após planificação e polimento em politriz

4.4 Teste de Microdureza

Para o teste de microdureza, foi utilizado o microdurômetro HMV-2000 (SHIMADZU Co; Tokyo, Japan), utilizando um penetrador Knoop, com carga de 50gf por um tempo de 30 segundos cada, sendo as leituras feitas com auxílio do software CAMS-WIN.

Foram selecionados, aleatoriamente, um dentre os dois corpos de prova provenientes de cada dente restaurado, sendo, no final, avaliados 30 corpos de prova durante o ensaio de microdureza (correspondentes às 30 metades obtidas dos dentes).

Os corpos de prova foram fixados em uma morsa universal, com auxílio de um nivelador, para que eles pudessem ser posicionados paralelamente ao horizonte, conforme figura 4.6.

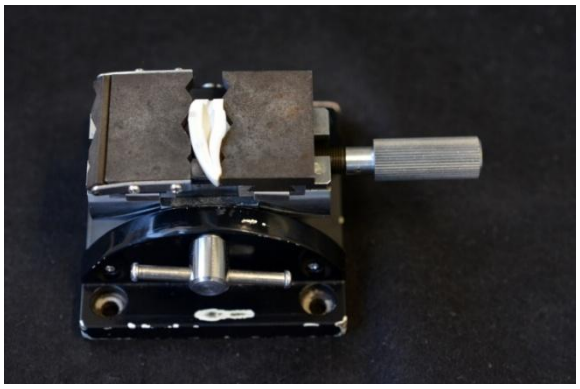

Figura 4.6 – Corpo de prova fixado na morsa universal, que possibilitou seu posicionamento paralelamente ao horizonte

As marcas foram feitas na secção transversal dos corpos de prova, somente na superfície da restauração, em resina composta, conforme figura 4.7.

Foram avaliadas as profundidades: Superficial (a uma distância de 100µm da superfície de contato com a ponta do fotoativador), Média (a 1mm da primeira profundidade) e Profunda (a uma distância de 100µm do fundo da restauração), sendo realizadas 5 endentações em cada profundidade, com distância de 100µm de uma marcação para outra.

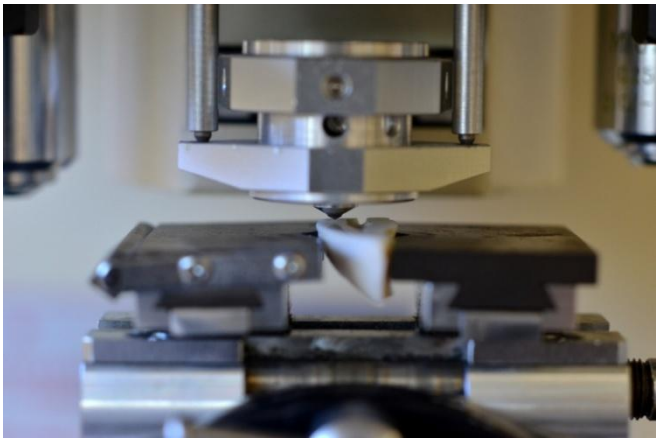

Figura 4.7 – Teste em andamento: Endentação sendo realizada no corpo de prova

4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

Após a realização da microdureza, as outras 30 metades, não utilizadas para este teste, foram preparadas para a realização da microscopia eletrônica de varredura. Foram realizados cortes a fim de reduzir o tamanho dos corpos de prova, até que eles chegassem a um tamanho de aproximadamente 4mm x 6mm (Figura 4.8).

Os corpos de prova passaram por desmineralização em ácido clorídrico 1M durante 30 segundos, foram lavados abundantemente, e, em seguida, foram submetidos à desproteinização em hipoclorito de sódio a 2,5% durante 10 minutos, seguido de lavagem abundante.

Figura 4.8 – Corpo de prova após cortes para redução, com tamanho de aproximadamente 4mm x 6mm

Então, com auxílio de um tubo de PVC (Tigre; Joinville, SC, Brasil) de meia polegada, os corpos de prova foram moldados com o silicone de adição Express XT (3M ESPE; St. Paul, MN, USA), primeiro com a pasta densa, seguida de leve alívio, e então com a pasta fluída de baixa viscosidade.

Os moldes obtidos foram vazados com a resina epóxica Epofix (Struers; Ballerup, Denmark) para obtenção de réplicas dos corpos de prova.

As réplicas foram fixadas em *stubs* próprios para a microscopia, com auxílio de fita dupla face de carbono, e submetidos à metalização (Figura 4.9).

Os corpos de prova foram armazenados em estufa seca até sua leitura, que foi realizada no microscópio Stereoscan 440 (Leo).

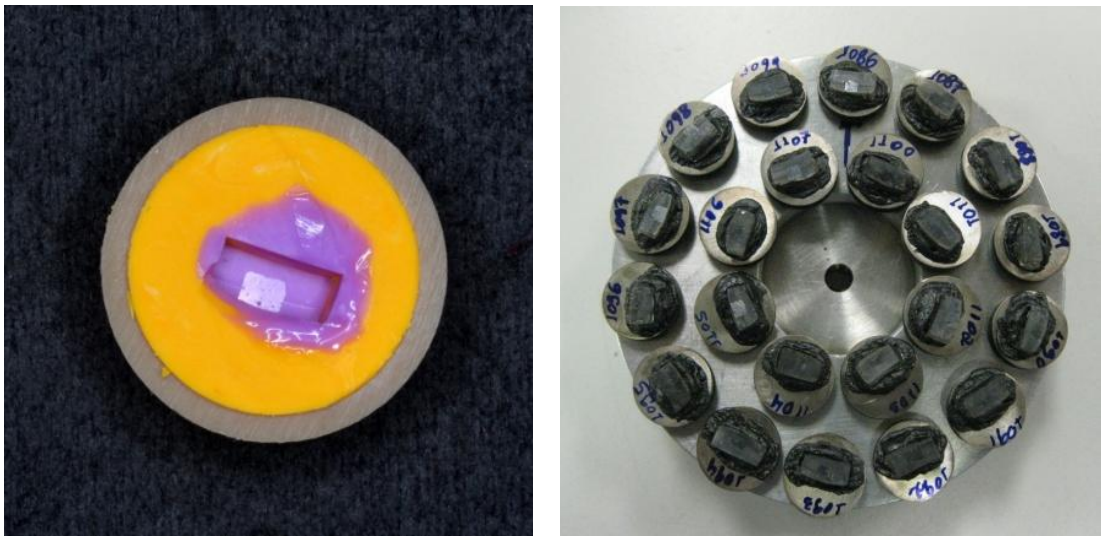

Figura 4.9 – Moldagem em silicone de adição para confecção das réplicas em resina epóxica e réplicas montadas em *stubs*, já metalizadas e prontas para leitura

As leituras foram feitas inicialmente com um aumento de 40x, onde, com auxílio do software Image J (National Institute of Health, EUA), foram feitas medidas do perímetro total da restauração (Pt), perímetro com bolhas ou imperfeições que impedissem a leitura correta (Pb) e desadaptação marginal (Dm), sendo calculada a porcentagem de desadaptação marginal de acordo com a fórmula:

$$X = \frac{Dm \times 100}{(Pt-Pb)}$$

Após verificação da porcentagem do perímetro com desadaptação marginal, uma imagem da região com a maior fenda marginal foi capturada em um maior aumento, de 200 a 450x, dependendo da necessidade, para melhor visualização e mensuração da largura da maior fenda marginal.

Essas medidas também foram realizadas com auxílio do software Image J, sendo que é possível a padronização das medidas de acordo com a escala fornecida pelas imagens geradas com o microscópio eletrônico de varredura.

4.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram organizados em tabela para análise estatística. Foram aplicados testes de normalidade e homogeneidade para os dados e, sendo detectada a normalidade da distribuição dos dados, foram aplicados testes de análise de variância (ANOVA), *split plot* para os dados de microdureza e *one way* para os dados de desadaptação marginal, com testes complementares de Tukey.

5 RESULTADOS

Os resultados de microdureza consistiram em 450 dados, enquanto os dados de desadaptação marginal foram 60, sendo 30 dados correspondentes à porcentagem de perímetro com desadaptação marginal e outros 30 correspondentes à largura da maior fenda encontrada.

A tabela 5.1 mostra as médias das 5 endentações realizadas em cada corpo de prova nas diferentes profundidades. (90 dados)

Tabela 5.1 – Médias de valores de dureza das 5 endentações realizadas em cada um dos corpos de prova dos diferentes grupos, nas diferentes profundidades

	Controle	Demi	Soft-start
Superficial	53,76	54,48	54,86
	53,56	51,58	52,10
	54,28	54,14	52,82
	54,32	51,92	53,74
	53,00	53,04	52,48
	54,14	52,78	52,26
	53,70	54,94	51,90
	53,58	52,46	53,22
	53,90	55,52	53,12
	52,66	56,30	53,38
Média	56,98	52,62	57,84
	56,88	53,56	56,48
	56,32	55,24	55,28
	55,66	56,08	55,68
	55,84	54,52	54,12
	56,08	56,06	55,98
	57,88	57,90	54,84
	55,38	54,18	55,44
	56,92	58,74	56,84
	57,10	57,04	57,08
Profunda	60,68	59,56	58,72
	61,14	60,66	57,24
	59,46	60,52	59,66
	59,38	60,46	58,68
	60,30	60,88	56,44
	59,50	56,26	58,28
	60,98	58,16	57,22
	58,78	57,26	58,10
	57,68	57,48	57,68
	57,48	57,40	58,12

Com esses dados foram realizados testes de normalidade e homogeneidade, sendo os valores considerados homogêneos e a distribuição amostral normal. Com esses resultados, o teste estatístico de análise de variância *split plot* foi realizado,

sendo um fator vinculado (profundidade) e um fator independente (fonte). Foi observada diferença estatisticamente significante (p<0,0001) entre as diferentes profundidades, e entre as fontes não foi detectada diferença (p=0,0386) (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Análise de variância – Dureza

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	p
Entre fontes	12,8854	2	6,4427	3,64	0,0386
Resíduo 1	47,7292	27	1,7677		
Entre profundidades	428,1187	2	214,0594	136,20	<0,0001
Interação	6,3646	4	1,5911	1,01	0,4102
Resíduo 2	84,8708	54	1,5717		
Variação total	579,9688	89			

S.Q.=Soma dos Quadrados; G.L.=Graus de Liberdade; Q.M.=Quadrados Médios

Após a observação dessa diferença, foi realizado o teste complementar de Tukey ao nível de 1% (T=2,14), que mostrou maiores valores de dureza para os grupos na região profunda (m=58,80), seguido pela região média (m=56,02), e a região superficial (m=53,46) com os menores valores de dureza.

As médias de dureza nas diferentes profundidades e diferentes fontes de fotoativação com seus respectivos valores de desvio padrão (Tabela 5.3) foram utilizados para a elaboração da figura 5.1.

Tabela 5.3 – Médias e desvios padrão dos valores de dureza nos diferentes grupos e profundidades

	Controle	Demi	Soft-start
Superficial	53,69 ± 0,53	53,72 ± 1,59	52,99 ± 0,89
Média	56,50 ± 0,78	55,59 ± 1,94	55,96 ± 1,12
Profunda	59,54 ± 1,28	58,86 ± 1,73	58,01 ± 0,92

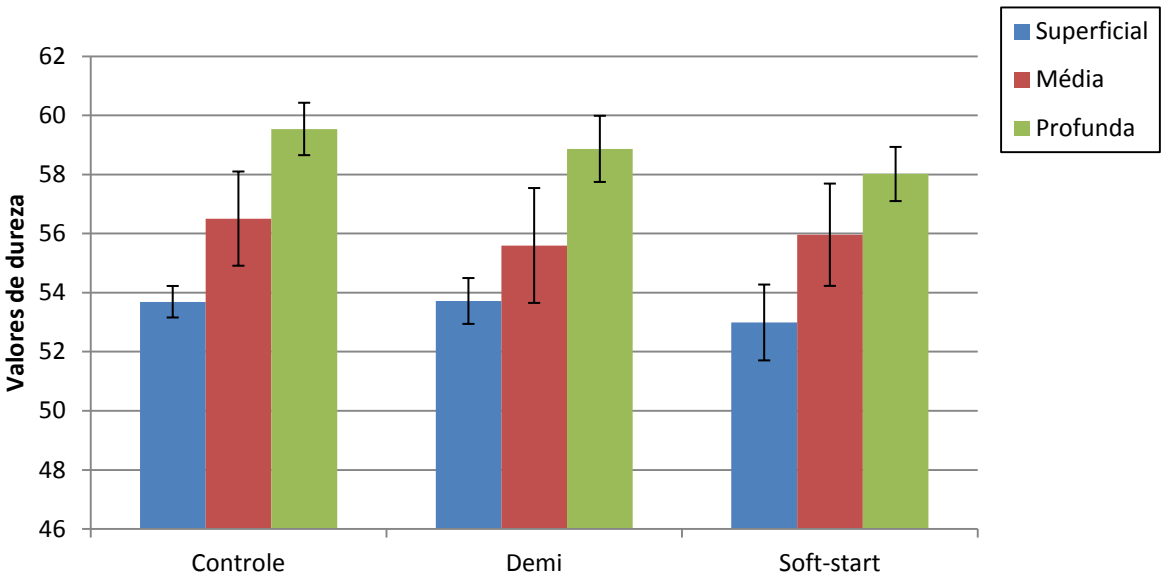

Figura 5.1 – Gráfico demonstrativo das médias e desvios padrão dos valores de dureza com as diferentes fontes nas diferentes profundidades

A interação entre as variáveis profundidade e fonte pode ser observada na figura 5.2, onde não foi detectada diferença estatisticamente significante entre o grupo Controle, Demi e Soft-start, e os valores de dureza foram maiores nas regiões média e profunda para todas as fontes.

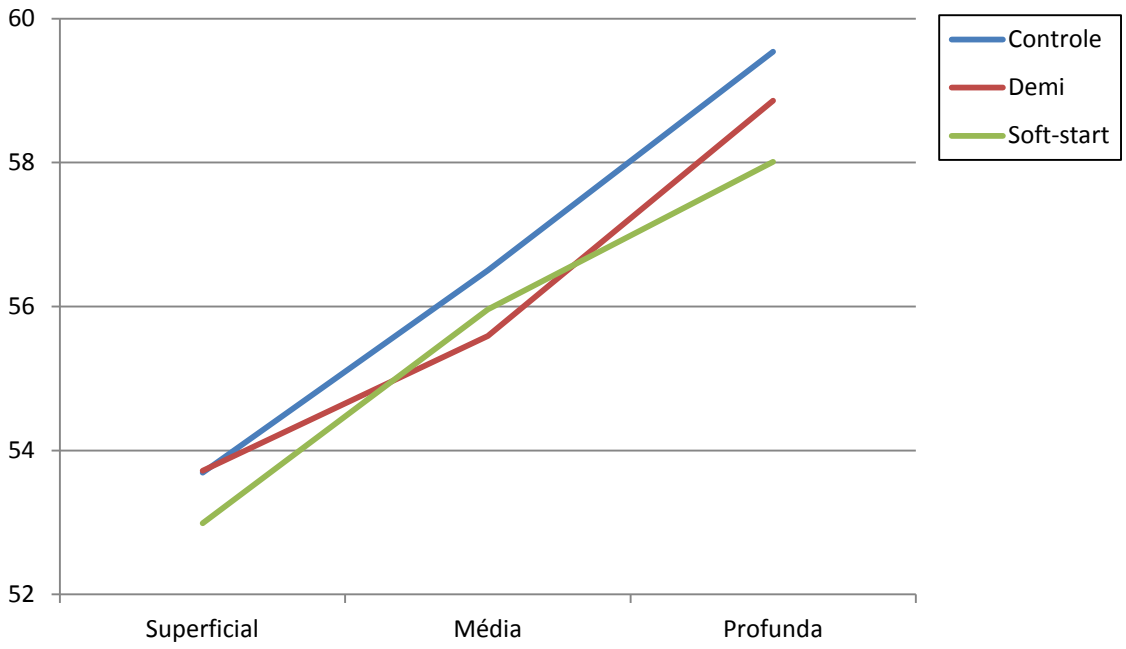

Figura 5.2 – Gráfico linear da interação entre as variáveis profundidade e fonte

As imagens obtidas através da MEV permitiram a mensuração tanto da porcentagem de perímetro com desaptação marginal, como da largura da maior fenda encontrada (figuras 5.3 e 5.4).

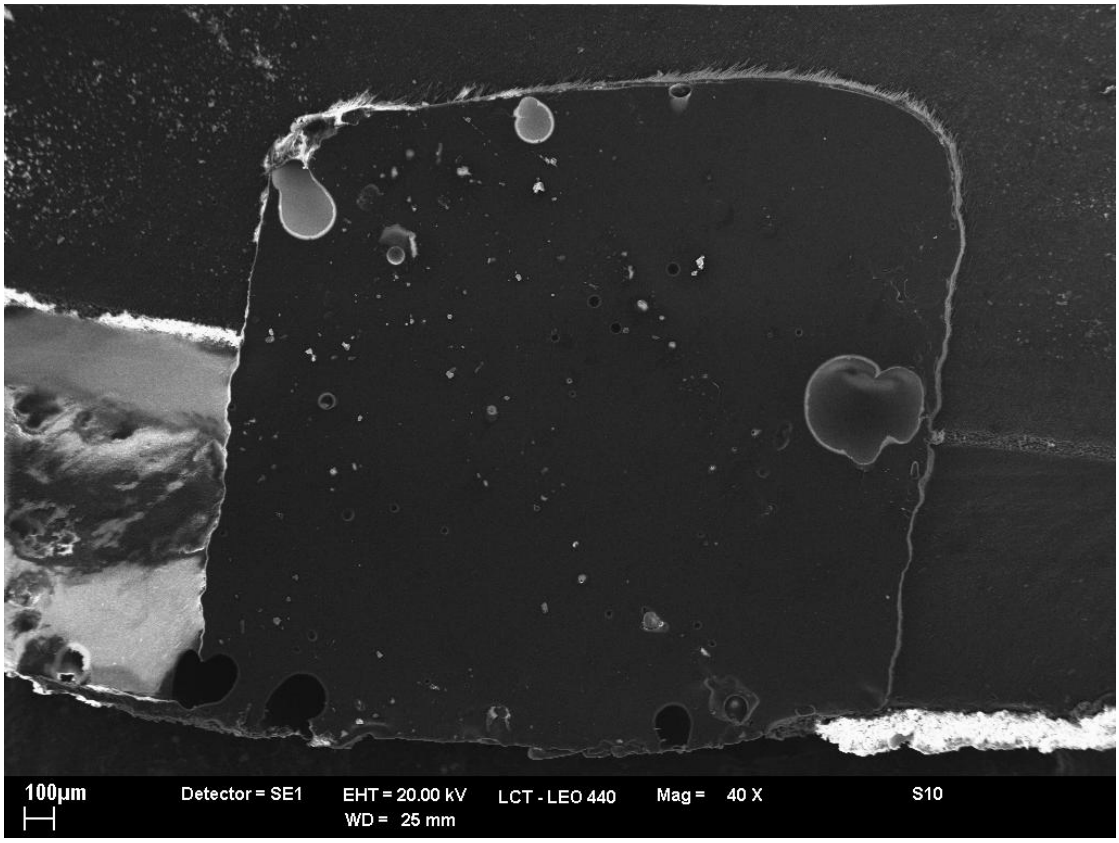

Figura 5.3 – MEV - Aumento de 40x utilizado para a porcentagem de perímetro com desadaptação marginal

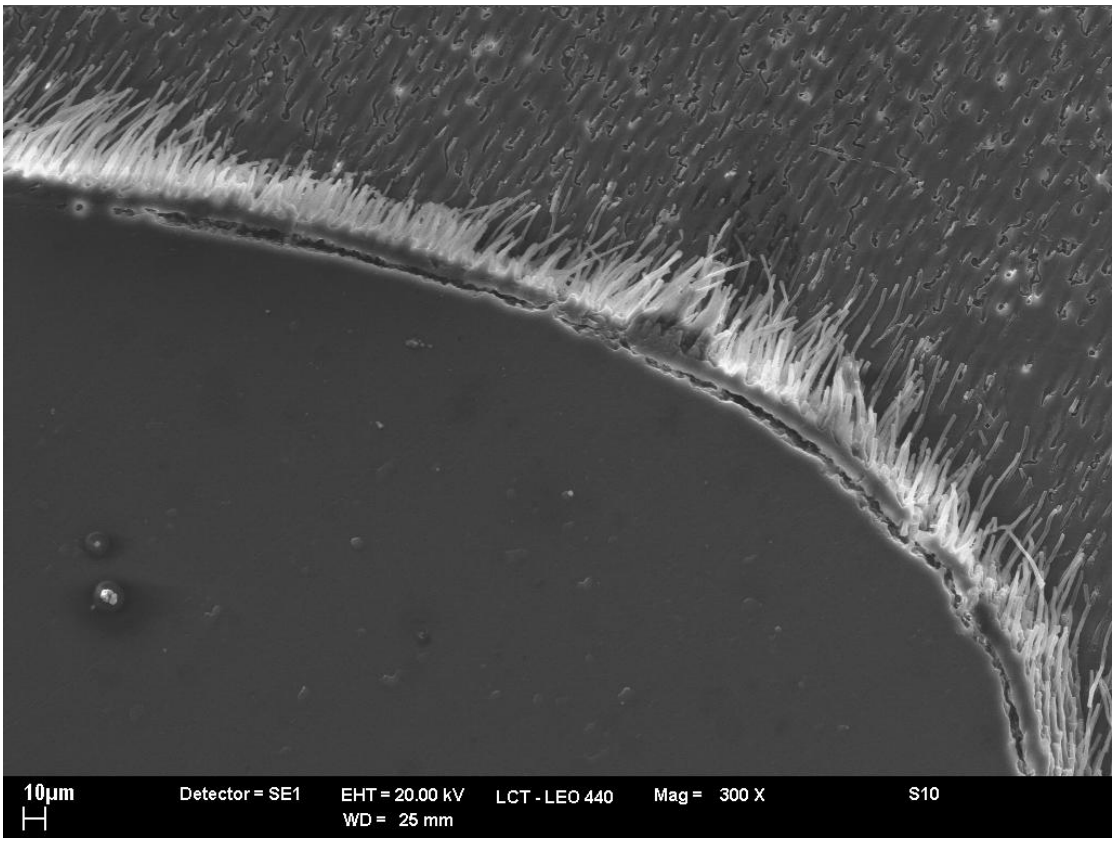

Figura 5.4 – MEV - Aumento de 300x utilizado para a largura da maior fenda encontrada

Na tabela 5.4, pode-se observar os 30 dados de porcentagem de perímetro com desadaptação marginal e 30 dados da largura da maior fenda encontrada, de acordo com cada tipo de fotoativação utilizada.

Tabela 5.4 – Valores de porcentagem de desadaptação marginal e largura da maior fenda encontrada de acordo com cada tipo de fotoativação utilizada

	CONTROLE		DEMI		SOFT-START	
	%	Largura	%	Largura	%	Largura
1	9,31	9,47	6,68	10,44	10,47	6,33
2	19,63	7,95	11,15	10,64	3,53	7,69
3	10,54	9,07	13,08	10,54	10,14	5,90
4	21,00	13,35	27,16	15,76	2,88	6,21
5	30,76	13,59	3,30	12,50	1,27	5,99
6	27,15	8,84	0,95	8,33	1,51	3,33
7	7,52	7,85	13,26	5,17	13,26	5,17
8	30,87	10,67	3,23	10,38	1,80	3,61
9	26,84	10,03	12,60	15,06	7,88	6,73
10	12,68	12,81	2,17	7,36	25,18	7,31

Foi realizado o teste estatístico de análise de variância *one way* tanto para a porcentagem de perímetro com desadaptação, como para a largura da maior fenda encontrada. Foram encontradas diferenças estatisticamente significantes para ambos os casos (p=0,0064 e p=0,0003 respectivamente), conforme demonstrado nas tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 – Análise de variância – Porcentagem de perímetro com desadaptação marginal

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	p
Porcentagem	827,015	2	413,508	6,1570	0,0064
Resíduo	1810,00	27	67,161		

S.Q.=Soma dos Quadrados; G.L.=Graus de Liberdade; Q.M.=Quadrados Médios

Tabela 5.6 – Análise de variância – Largura da maior fenda encontrada

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	p
Largura	145,280	2	72,640	12,5400	0,0003
Resíduo	156,402	27	5,793		

S.Q.=Soma dos Quadrados; G.L.=Graus de Liberdade; Q.M.=Quadrados Médios

Após a aplicação do teste complementar de Tukey para a porcentagem de perímetro com desadaptação marginal, foi observada diferença estatisticamente significante entre os grupos Controle e Soft-Start ($p<0,01$), sendo que no Controle foram obtidos maiores valores de porcentagem de perímetro com desadaptação marginal do que o Soft-start. Não foi observada diferença estatisticamente significante entre os demais grupos.

As médias da porcentagem de perímetro com desadaptação marginal, assim como seus desvios padrão (Tabela 5.7) foram utilizados para a elaboração da figura 5.5.

Tabela 5.7 – Médias e desvios padrão – Porcentagem de perímetro com desadaptação marginal (%)

Fonte de Variação	Média ± DP
Controle	19,63 ± 9,10
Demi	9,358 ± 7,91
Soft-start	7,792 ± 7,49

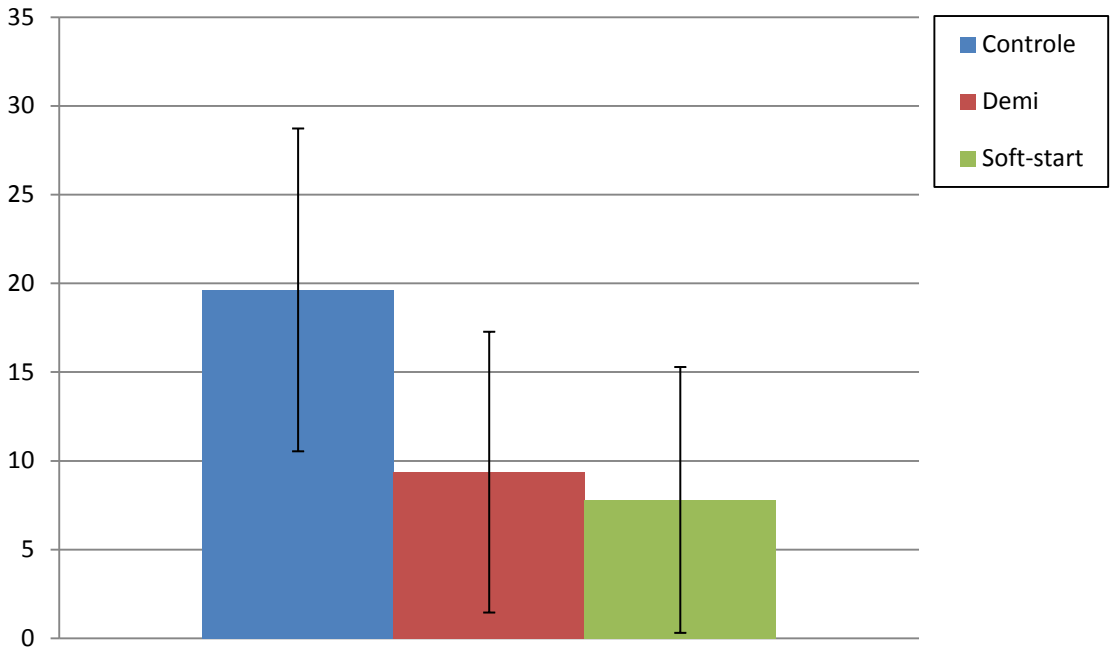

Figura 5.5 – Gráfico demonstrativo das médias e desvios padrão dos valores de porcentagem de perímetro com desadaptação marginal de acordo com as diferentes fontes

Para a largura da maior fenda encontrada, o teste de Tukey revelou haver diferença estatisticamente significante ($p<0,01$) entre os grupos Controle e Soft-start e entre os grupos Demi e Soft-start e não houve diferença entre os grupos Controle e Demi. Os grupos Controle e Demi tiveram maiores valores de largura de fenda do que o grupo Soft-start.

As médias da largura da maior fenda encontrada, assim como seus desvios padrão (Tabela 5.8) foram utilizados para a elaboração da figura 5.6.

Tabela 5.8 – Médias e desvios padrão – Largura da maior fenda encontrada (µm)

Fonte de Variação	Média ± DP
Controle	10,36 ± 2,17
Demi	10,62 ± 3,25
Soft-start	5,83 ± 1,43

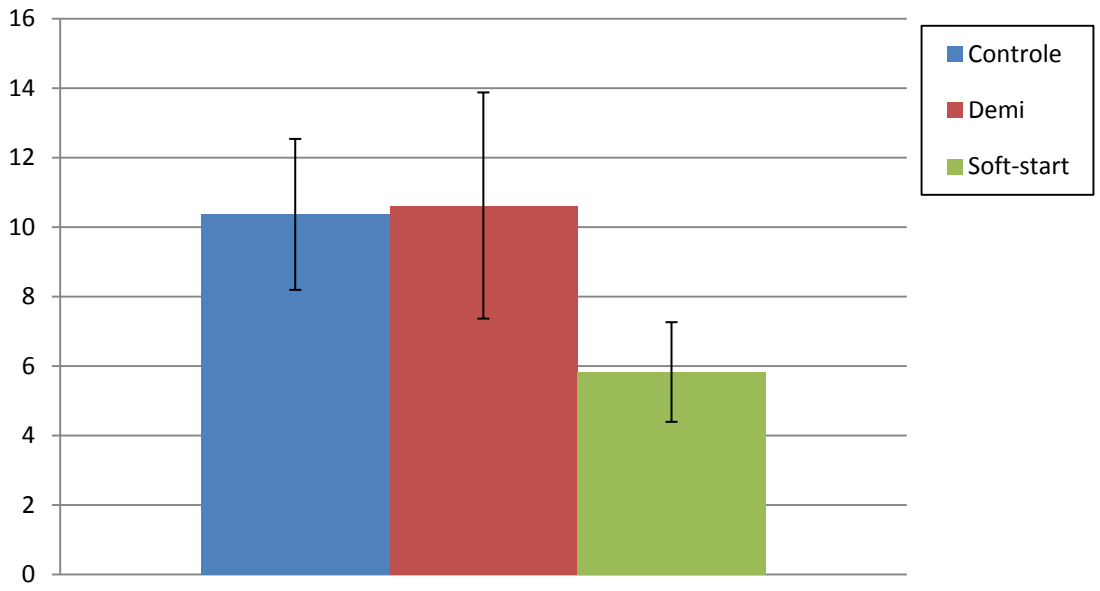

Figura 5.6 – Gráfico demonstrativo das médias e desvios padrão dos valores de largura da maior fenda encontrada de acordo com as diferentes fontes

A figura 5.7 apresenta a dispersão dos dados entre porcentagem de perímetro com desadaptação marginal e largura da maior fenda encontrada. Foi encontrada uma correlação linear positiva (r=0,4692), ou seja, maiores valores de porcentagem de perímetro com desadaptação marginal correspondem a maiores valores de largura da maior fenda encontrada.

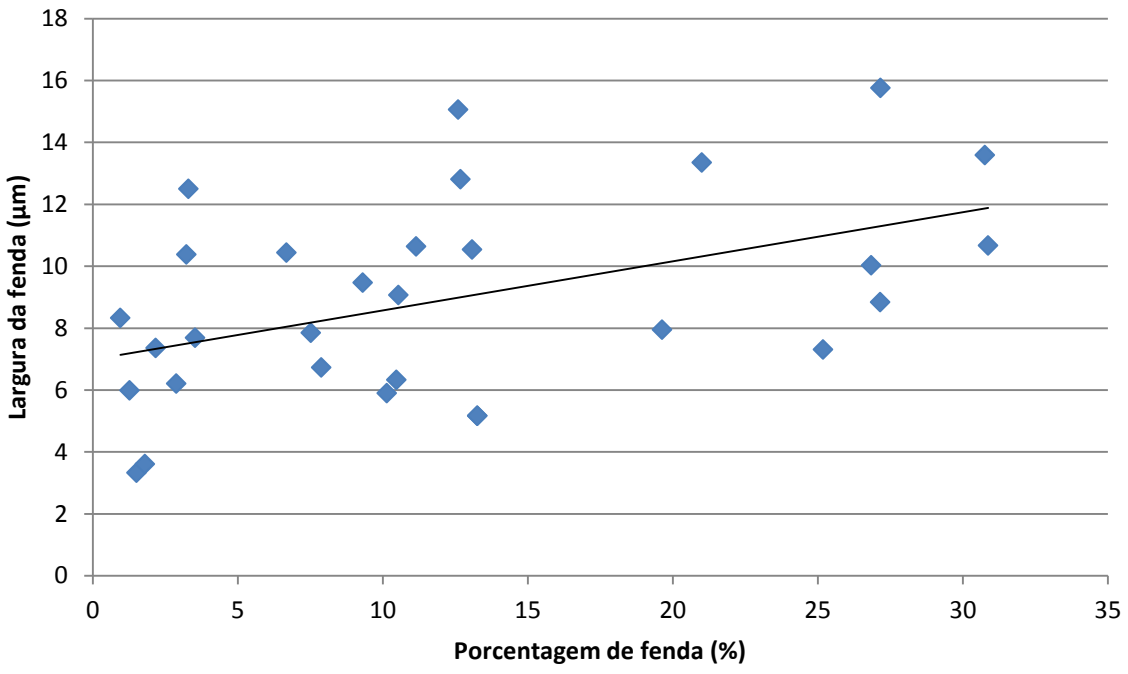

Figura 5.7 – Gráfico de dispersão entre largura da maior fenda encontrada (µm) e porcentagem de perímetro com desadaptação marginal (%)

6 DISCUSSÃO

Os protocolos de fotoativação utilizados neste estudo foram o método contínuo, que serviu como controle, a tecnologia PLS, fornecida pelo equipamento fotoativador DEMI, e o método *soft-start*, obtido através da variação da distância da ponta do equipamento fotoativador.

A verificação de falhas na interface entre dente e restauração *in vitro* é uma maneira de se prever a formação de falhas *in vivo*, já que autores já encontraram correlação entre estas situações, e a ausência de restaurações livres de fendas observada neste estudo pode ser explicada pela dificuldade da observação de interfaces como estas, tanto clinica como laboratorialmente (Hannig; Friedrichs, 2001).

Antes do início da confecção das réplicas para leitura em MEV, foi realizado um tratamento com NaClO e HCl nos corpos de prova (Lopes et al., 2004) , a fim de remover qualquer resíduo orgânico e mineral que pudesse atrapalhar a visualização de fendas na interface entre dente e restauração. Houve preocupação em relação a esse preparo, pois era possível que ele induzisse fendas que não existiriam, porém essa situação foi descartada, já que grandes regiões da interface se apresentaram íntegras.

Para todos os grupos estudados, os valores obtidos pelo do cálculo de porcentagem de perímetro com desadaptação marginal tiveram grande variação, o que gerou um desvio padrão alto e pode gerar uma imprecisão, ou necessidade de maior número de leituras. Tendo em vista essa situação, apesar da correlação linear positiva entre a mensuração da largura da maior fenda encontrada e da porcentagem de perímetro com desadaptação marginal, a primeira teve melhores resultados, sendo que essa análise já foi realizada com sucesso por outros autores (Casselli et al., 2013) e tem forte relação com o stress de contração, podendo ser utilizada para avaliar a contração de polimerização e seus efeitos (Takahashi et al., 2010).

Para a resina estudada, os grupos controle e DEMI não mostraram valores de largura da maior fenda encontrada com diferença estatisticamente significante entre eles. Isso mostra que, neste caso, a fotoativação com LED de alta intensidade por

um tempo de 5 segundos resultou em restaurações com uma adaptação marginal comparável ao do grupo controle.

O grupo *soft-start* obteve melhores resultados em relação à adaptação marginal, sendo que esse resultado já foi relatado na literatura (Mehl et al., 1997). Outros estudos mostraram uma diminuição da contração de polimerização ou das tensões provenientes dela com o uso deste protocolo (Lu et al., 2005; Cunha et al., 2007; Knezevic et al., 2010; El-Korashy, 2010; Sudheer; Manjunath, 2011). Essa diminuição pode explicar os resultados obtidos, já que, com a diminuição da contração de polimerização e do estresse gerado com ela, existem menos forças prejudiciais à integridade marginal das restaurações (Braga et al., 2005).

Em seu estudo, Lu et al. (2005) observaram uma diminuição do grau de conversão alcançado quando o método *soft-start* foi utilizado, sendo essa a justificativa para a diminuição do estresse de contração. A diminuição do grau de conversão da resina composta é prejudicial para a restauração, já que, decorrente dela, temos uma diminuição das propriedades mecânicas do material (Ferracane, 2013).

Entretanto, o presente trabalho, assim como outros já realizados (Sudheer, Manjunath, 2011; Poggio et al., 2012), não encontrou diferença estatisticamente significante entre a dureza da resina composta fotoativada com diferentes protocolos.

A redução das propriedades mecânicas do material pode ocasionar maior desgaste e até a fratura de restaurações, sendo esta uma das principais causas de necessidade de substituição de restaurações (Da Rosa Rodolpho et al., 2011).

Durner et al. (2012) realizaram um trabalho recente que mostrou uma relação inversa entre grau de conversão e a quantidade de substâncias solúveis em uma resina composta, ou seja, quanto menor o grau de conversão, maior a quantidade de substâncias solúveis remanescentes nessa resina. Sendo a biocompatibilidade um requisito fundamental para os materiais restauradores, a obtenção de um baixo grau de conversão pode ser extremamente prejudicial para a restauração *in vivo*.

Outros estudos analisaram a microinfiltração de restaurações em resina composta fotoativadas com métodos *soft-start*, tendo a maioria deles um resultado negativo, sem diferença entre os grupos estudados (França et al., 2005; Cunha et al., 2006; Jorge et al., 2008). Portanto esse método de avaliação parece ser inadequado para tal finalidade, sendo que o único método de fotoativação gradual

que apresentou melhoras em relação ao método contínuo que requeria tempo de 4 minutos de exposição (Hardan et al., 2009), o que pode ser um tempo de fotoativação difícil de se reproduzir clinicamente.

O tempo de exposição requerido pelo grupo DEMI, de 5 segundos, é desejável em situações clínicas, já que proporciona maior conforto tanto para o paciente como para o cirurgião-dentista. Embora Rueggeberg et al. (2009), em seu estudo, tenham encontrado propriedades inferiores quando utilizados os 5 segundos recomendados pelo fabricante, o presente estudo não apresentou valores de dureza significativamente diferentes entre os grupos estudados. Uma possível justificativa para a divergência de resultados é o fato de que no estudo citado, a ponta do equipamento fotoativador foi mantida a 2mm da restauração, simulando algumas situações clínicas específicas, enquanto no presente estudo a ponta foi mantida em contato com a restauração.

O distanciamento da ponta do equipamento fotoativador causa uma diminuição da intensidade da luz que chega à restauração (Rode et al., 2007; Thomé et al., 2007; Fróes-Salgado et al., 2009). A distância inicial de 6mm utilizada no grupo soft-start do presente estudo causou uma redução de aproximadamente 50% da intensidade total, resultado semelhante ao encontrado na literatura (Price et al., 2000).

Esse aumento da distância gerou uma intensidade inicial de 520mW/cm². Essa intensidade associada a um tempo de 20 segundos (densidade de energia de 10,3J/cm²) foi eficaz, como exposição de luz inicial, na melhora da adaptação marginal das restaurações confeccionadas *in vitro* neste estudo, com a resina composta estudada.

Em relação à profundidade de polimerização, não houve diferença estatisticamente significante entre os grupos estudados. Todos os grupos apresentaram valores de dureza aceitáveis nos 2mm estudados, já que não houve resultado inferior aos 80% da dureza máxima obtida.

Foi observado um aumento de dureza conforme a profundidade era aumentada. Isso pode ser explicado com a técnica de inserção incremental utilizada, associada a cavidades de pequena profundidade (2mm), já que as camadas mais profundas receberam luz por 3 ciclos de fotoativação, referentes aos 3 incrementos utilizados na restauração, enquanto a camada mais superficial recebeu somente um.

A utilização de testes de dureza é válida para a determinação e comparação do grau de conversão neste estudo, já que a resina composta testada foi sempre a mesma (Ferracane, 1985), possibilitando inclusive a comparação dos valores obtidos nas diferentes profundidades avaliadas (Bouschlicher et al., 2004).

Em relação à densidade de energia utilizada nos diferentes grupos, foi utilizado o mesmo valor de 20,6J/cm² nos grupos controle e *soft-start*, enquanto no grupo DEMI não foi possível o cálculo exato, mas esse valor foi inferior ao dos outros grupos devido ao curto tempo de exposição.

Existe uma grande discrepância de resultados, quando o assunto é a relação entre grau de conversão e a chamada lei de reciprocidade da densidade de energia. Segundo essa lei, desde que mantido o valor final de densidade de energia, a alteração no tempo de exposição e na intensidade de luz não causaria alteração no grau de conversão alcançado (Halvorson et al., 2002). Entretanto, existem autores que não encontraram aplicabilidade desta lei em seus estudos (Peutzfeldt; Asmussen, 2005), chegando a conclusão que esta relação não é tão simples, podendo ela depender de fatores como a viscosidade e composição da resina composta (Hadis et al., 2011), como o fotoiniciador utilizado, além do equipamento fotoativador e seu comprimento de onda (Leprince et al., 2011).

Neste estudo, a lei de reciprocidade teve aplicação quando foi utilizado o mesmo fotoativador nos grupos controle e *soft-start*, já que com a mesma densidade de energia de 20,6J/cm², variando o tempo de exposição e a intensidade de luz, não foram encontrados valores de dureza estatisticamente diferentes.

Porém quando comparados esses grupos com o grupo DEMI, não foi observada essa relação de reciprocidade, pois nesse grupo foi aplicada uma densidade de energia menor do que os outros grupos, porém os valores de dureza mensurados não foram diferentes.

Uma possível explicação para tal observação pode ser a diferença do equipamento fotoativador, que foi a única alteração entre o grupo DEMI e os grupos controle e *soft-start*. O fotoativador Elipar Freelight 2 possui comprimento de onda de 430 a 480nm, maior do que o do Demi, com comprimento de onda entre 450 e 470nm. Talvez essa concentração com comprimento de onda próximo ao pico de absorção da canforoquinona tenha feito com que a resina estudada tenha atingido maior dureza com menor densidade de energia aplicada.

Outra possível explicação é que mesmo quando menores densidades de energia foram aplicadas, a dureza máxima pode ter sido atingida devido à técnica incremental ter sido utilizada em uma profundidade pequena.

Como a resina composta estudada não possui fotoiniciadores para dentes clareados, como o Lucerin TPO, os comprimentos de onda estreitos, característicos de lâmpadas LED, não apresentaram efeitos negativos à dureza do material, já que o pico de absorção do fotoiniciador utilizado, a canforoquinona, é de cerca de 470nm (Neumann et al., 2005).

Tendo em vista a complexidade da reação de polimerização e dos diversos fatores que influenciam o estresse gerado, estabelecer um único protocolo de fotoativação para todas as ocasiões e materiais parece inviável. Os testes de microdureza Knoop e a mensuração da adaptação marginal através de MEV foram eficientes na análise da qualidade de polimerização, sendo que a mensuração da largura da maior fenda encontrada pareceu mais precisa do que a porcentagem do perímetro com desadaptação marginal.

Embora seja requerido um tempo de fotoativação maior, o protocolo “soft-start” testado trouxe vantagens para a resina testada, como a maior integridade marginal e a manutenção da dureza transversal. Clinicamente, essas vantagens fariam com que as restaurações confeccionadas com este protocolo tivessem menor risco de cárie secundária e propriedades mecânicas semelhantes ao dos outros métodos de fotoativação testados.

Em relação ao tempo de trabalho, o equipamento fotoativador DEMI mostrou superioridade e, embora a adaptação marginal seja inferior ao do grupo “soft-start”, ela é comparável ao do grupo controle.

Tendo essas informações, o cirurgião dentista, em sua prática clínica, se optar por um tempo de trabalho menor, visando seu conforto e o do paciente, poderia estar perdendo em qualidade, já que restaurações com melhor adaptação marginal foram observadas quando o método de fotoativação “soft-start” foi utilizado.

7 CONCLUSÕES

Tendo em vista a metodologia utilizada, os materiais testados e os resultados obtidos, foram possíveis as seguintes conclusões:

- o protocolo de fotoativação “soft-start” melhorou a adaptação marginal das restaurações em resina composta sem prejudicar a dureza do material;

- o equipamento fotoativador DEMI, com a utilização da tecnologia PLS, teve resultados sem diferença estatisticamente significante na avaliação da adaptação marginal, quando comparado ao método contínuo;

- nenhum dos protocolos de fotoativação testados causou alteração na dureza da resina composta fotoativada, quando comparados entre si, e os incrementos de resina inseridos nas porções mais profundas da cavidade apresentaram maiores valores de dureza em relação às camadas superficiais.

REFERÊNCIAS

Alani AH, Toh CG. Detection of microleakage around dental restorations: a review. Oper Dent. 1997 Jul-Aug;22(4):173-85.

Anusavice KJ. Philips materiais dentários. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan; 2005.

Araújo JLN. Estudo *in vitro* do efeito de unidades fotoativadoras com diferentes comprimentos de onda na dureza (por meio de micro e ultramicroendentação) e módulo de elasticidade de uma resina composta nanohíbrida [tese] São Paulo: Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo; 2013.

Bernardo M, Luis H, Martin MD, Leroux BG, Rue T, Leitão J, et al. Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. J Am Dent Assoc. 2007 Jun;138(6):775-83.

Bortolotto T, Prando F, Dietschi D, Krejci I. Light polymerization during cavity filling: influence of total energy density on shrinkage and marginal adaptation. Odontology. 2013 Jul 6. [Epub ahead of print].

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

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 Nov-Dec;29(6):698-704.

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

Busemann I, Lipke C, Schattenberg A, Willershausen B, Ernst CP. Shortest exposure time possible with LED curing lights. Am J Dent. 2011 Feb;24(1):37-44.

Casselli DS, Faria-e-Silva AL, Casselli H, Martins LR. Marginal adaptation of class V composite restorations submitted to thermal and mechanical cycling. J Appl Oral Sci. 2013 Jan-Feb;21(1):68-73.

Catelan A, Santo MR, Menegazzo LM, Moraes JC, dos Santos PH. Effect of light curing modes on mechanical properties of direct and indirect composites. Acta Odontol Scand. 2013 May-Jul;71(3-4):697-702.

Cetin A, Unlu N, Cobanoglu N. A five-year clinical evaluation of direct nanofilled and indirect composite resin restorations in posterior teeth. Oper Dent. 2013 Mar-Apr;38(2):E1-E11.

Cunha LA, Pagani C, Miranda CB, Teixeira SC, Silva RCSP. Efeito de diferentes métodos de polimerização na microinfiltração marginal de restaurações de resina composta. Cienc Odontol Bras. 2006 Abr-Jun;9(2):61-66.

Cunha LG, Alonso RC, Pfeifer CS, Correr-Sobrinho L, Ferracane JL, Sinhoreti MA. Modulated photoactivation methods: Influence on contraction stress, degree of conversion and push-out bond strength of composite restoratives. J Dent. 2007 Apr;35(4):318-24.

Da Rosa Rodolpho PA, Donassollo TA, Cenci MS, Loguércio AD, Moraes RR, Bronkhorst EM, et al. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. Dent Mater. 2011 Oct;27(10):955-63.

Dauvillier BS, Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Visco-elastic parameters of dental restorative materials during setting. J Dent Res. 2000 Mar;79(3):818-23.

Durner J, Obermaier J, Draenert M, Ilie N. Correlation of the degree of conversion with the amount of elutable substances in nano-hybrid dental composites. Dent Mater. 2012 Nov;28(11):1146-53.

El-Korashy DI. Post-gel shrinkage strain and degree of conversion of preheated resin composite cured using differend regimens. Oper Dent. 2010 Mar-Apr;35(2):172-9.

El-Shamy H, El-Mowafy O. Relative hardness of composite buildups polymerized with two different LED lights. Int J Prosthodont. 2009 Sep-Oct;22(5):476-8.

Emami N, Söderholm KJ, Berglund LA. Effect of light power density variations on bulk curing properties of dental composites. J Dent. 2003 Mar;31(3):189-96.

Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. Dent Mater. 1990 Jul;6(3):167-71.

Feitosa VP, Fugolin AP, Correr AB, Correr-Sobrinho L, Consani S, Watson TF, et al. Effects of different photo-polymerization protocols on resin-dentine µTBS, mechanical properties and cross-link density of a nano-filled resin composite. J Dent. 2012 Oct;40(10):802-9.

Ferracane JL. Buonocore Lecture. Placing dental composites--a stressful experience. Oper Dent. 2008 May-Jun;33(3):247-57.

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

Ferracane JL. Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. Dent Mater. 2005 Jan;21(1):36-42.

Ferracane JL. Resin composite--state of the art. Dent Mater. 2011 Jan;27(1):29-38.

Ferracane JL. Resin-based composite performance: are there some things we can't predict? Dent Mater. 2013 Jan;29(1):51-8.

França FMG, Hori FS, Santos AJS, Lovadino JR. The effect of insertion and photopolymerization techniques on microleakage of Class V cavities: a quantitative evaluation. Braz Oral Res. 2005 Jan-Mar;19(1):30-5.

Fróes-Salgado NR, Francci C, Kawano Y. Influência do modo de fotoativação e da distância de irradiação no grau de conversão de um compósito. Perspect. Oral Sci. 2009 Ago; 1(1):11-17.

Hadis M, Leprince JG, Shortall AC, Devaux J, Leloup G, Palin WM. High irradiance curing and anomalies of exposure reciprocity law in resin-based materials. J Dent. 2011 Aug;39(8):549-57.

Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. Dent Mater. 2002 Sep;18(6):463-9.
Hannig M, Friedrichs C. Comparative in vivo and in vitro investigation of interfacial bond variability. Oper Dent. 2001 Jan-Feb;26(1):3-11.

Hardan LS, Amm EW, Ghayad A, Ghosn C, Khraisat A. Effect of different modes of light curing and resin composites on microleakage of Class II restorations--Part II. Odontostomatol Trop. 2009 Jun;32(126):29-37.

Ilie N, Jelen E, Rickel R. Is the soft-start polymerization concept still relevant for modern curing units? Clin Oral Investig. 2011 Feb;15(1):21-9.

Jandt KD, Mills RW. A brief history of LED photopolymerization. Dent Mater. 2013 Jun;29(6):605-17.

Jiménez-Planas A, Martín J, Abalos C, Llamas R. Developments in polymerization lamps. Quintessence Int. 2008 Feb;39(2):e74-84.

Jorge ALC, Batista GR, Araújo MAM, Torres CRG. Interferência dos métodos de fotopolimerização na microinfiltração marginal de restaurações de resina composta. Cienc Odontol Bras. 2008 Abr-Jun;11(2):36-43.

Jørgensen KD, Hisamitsu H. Class 2 composite restorations: prevention in vitro of contraction gaps. J Dent Res. 1984 Feb;63(2):141-5.

Knezevic A, Sariri K, Sovic I, Demoli N, Tarle Z. Shrinkage evaluation of composite polymerized with LID units using laser interferometry. Quintessence Int. 2010 May;41(5):417-25.

Leprince JG, Hadis M, Shortall AC, Ferracane JL, Devaux J, Leloup G, et al. Photoinitiator type and applicability of exposure reciprocity law in filled and unfilled photoactive resins. Dent Mater. 2011 Feb;27(2):157-64.

Leprince JG, Lamblin G, Devaux J, Dewaele M, Mestdagh M, Palin WM, et al. Irradiation modes' impact on radical entrapment in photoactive resins. J Dent Res. 2010 Dec;89(12):1494-8.

Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Leloup G. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. Dent Mater. 2013 Feb;29(2):139-56.

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

Lopes GC, Baratieri LN, Monteiro Jr S, Vieira LCC. Effect of posterior resin composite placement technique on the resin-dentin interface formed in vivo. Quintessence Int. 2004 Feb;35(2):156-61.

Lu H, Stansbury JW, Bowman CN. Impact of curing protocol on conversion and shrinkage stress. J Dent Res. 2005 Sep;84(9):822-6.

Malhotra N, Kundabala M, Shashirashmi A. Strategies to overcome polymerization shrinkage--materials and techniques. A review. Dent Update. 2010 Mar;37(2):115-8, 120-2, 124-5.

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

Mjor IA, Shen C, Eliasson ST, Richter S. Placement and replacement of restorations in general dental practice in Iceland. Oper Dent 2002; 27(2):117-23.

Nassar HM, González-Cabezas C. Effect of gap geometry on secondary caries wall lesion development. Caries Res. 2011;45(4):346-52.

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

Oliveira KM, Consani S, Gonçalves LS, Brandt WC, Ccahuana-Vásquez RA. Photoelastic evaluation of the effect of composite formulation on polymerization shrinkage stress. Braz Oral Res. 2012a May-Jun;26(3):202-8.

Oliveira KM, Lancellotti AC, Ccahuana-Vásquez RA, Consani S. Shrinkage stress and degree of conversion of a dental composite submitted to different photoactivation protocols. Acta Odontol Latinoam. 2012b;25(1):115-22.

Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM, Loomans BA. A retrospective clinical study on longevity of posterior composite and amalgam restorations. Dent Mater. 2007 Jan;23(1):2-8.
Peutzfeldt A, Asmussen E. Resin composite properties and energy density of light cure. J Dent Res. 2005 Jul;84(7):659-62.

Poggio C, Lombardini M, Gaviati S, Chiesa M. Evaluation of Vickers hardness and depth of cure of six composite resins photo-activated with different polymerization modes. J Conserv Dent. 2012 Jul;15(3):237-41.

Price R, Dérand T, Sedarous M, Andreou P, Loney RW. Effect of distance on the power density from two light guides. J J Esthet Dent. 2000;12(6):320-7.

Reis A, Loguercio AD. Materiais Dentários Restauradores Diretos – dos fundamentos à aplicação clínica. São Paulo: Editora Santos; 2007.

Rode KM, Freitas PM, Lloret PR, Powell LG, Turbino ML. Micro-hardness evaluation of a micro-hybrid composite resin light cured with halogen light, light-emitting diode and argon ion laser. Lasers Med Sci 2009; 24:87-92.

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

Rueggeberg FA. State-of-the-art: Dental photocuring – A review. Dent Mater. 2011 Jan;27(1):39-52.

Rueggeberg FA, Cole MA, Looney SW, Vickers A, Swift EJ. Comparison of manufacturer-recommended exposure durations with those determined using biaxial flexure strength and scraped composite thickness among a variety of light-curing units. J Esthet Restor Dent. 2009;21(1):43-61.

Rueggeberg FA, Swift EJ Jr. Exposure times for contemporary composites. J Esthet Restor Dent. 2013 Apr;25(2):82-4.

Sakaguchi RL, Berge HX. Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. J Dent. 1998 Nov;26(8):695-700.

Santini A, Miletic V, Swift MD, Bradley M. Degree of conversion and microhardness of TPO-containing resin-based composites cured by polywave and monowave LED units. J Dent. 2012 Jul;40(7):577-84.

Shafiei F, Saffarpour A, Moradmand M, Alavi AA. Effect of light activation mode on the incompatibility between one-bottle adhesives and light-cured composites: an in vitro shear bond strength study. Oper Dent. 2009 Sep-Oct;34(5):558-64.

Sudheer V, Manjunath M. Contemporary curing profiles: Study of effectiveness of cure and polymerization shrinkage of composite resins: An in vitro study. J Conserv Dent. 2011 Oct;14(4):383-6.

Takahashi H, Finger WJ, Wegner K, Utterodt A, Komatsu M, Wöstmann B, et al. Factors influencing marginal cavity adaptation of nanofiller containing resin composite restorations. Dent Mater. 2010 Dec;26(12):1166-75.

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

Totiam P, Gonzáles-Cabezas C, Fontana MR, Zero DT. A new in vitro model to study the relationship of gap size and secondary caries. Caries Res. 2007;41(6):467-73.

Turbino ML, Belan LC, Soprano V, Rode KM, Lloret PR, Youssef MN. Argon ion laser curing depth effect on a composite resin. Lasers Med Sci. 2011 Jul;26(4):421-5.

Turbino ML, Vinha D, Centola AL, Campos GM. Photopolymerized resins: surface hardness variation in relation to time of polymerization and setting. Braz Dent J. 1993;3(2):87-94.

Ulusu T, Oztaş N, Tulunoğlu O. Comparison of the effect of insertion techniques of a resin composite on dentinal adaptation of two visible light-cured bases: direct evaluation versus a replica technique. Quintessence Int. 1996 Jan;27(1):63-8.

Van Nieuwenhuysen JP, D'Hoore W, Carvalho J, Qvist V. Long-term evaluation of extensive restorations in permanent teeth. J Dent 2003 Aug;31(6):395-405.

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética no Uso de Animais

Universidade de São Paulo
Faculdade de Odontologia
Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo CEUA/FOUSP Nº 08/2013 referente ao projeto intitulado: "Comparação "in vitro" de parâmetros para fotoativação de restaurações em resina composta por meio de microdureza e microscopia eletrônica de varredura" sob a responsabilidade de execução dos autores **Profa. Dra. Miriam Lacalle Turbino,** o aluno **Carlos Alberto Kenji Shimokawa**, foi analisado na presente data e considerado isento de análise da CEUA por utilizar dentes bovinos.

São Paulo, 29 de abril de 2013.

Prof. Dr. João Gualberto de Cerqueira Luz
Coordenador do CEUA/FOUSP

Av. Prof. Lineu Prestes, 2227 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira".
São Paulo - SP - CEP 05508-000 - FAX (0XX11) 3091-7879 -
Tels. Chefia (0XX11) 3091-7863 - Secretaria do Depto. (0XX11) 3091-7887.