

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DENTÍSTICA RESTAURADORA

MARÍA VICTORIA ARTEAGA CHIMÁ

ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE FENDAS INTERNAS NA INTERFACE ADESIVA E
DUREZA DE RESINAS *BULK FILL* EM RESTAURAÇÕES DE CAVIDADES CLASSE
I UTILIZANDO DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE FOTOATIVAÇÃO

PONTA GROSSA
2022

MARÍA VICTORIA ARTEAGA CHIMÁ

ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE FENDAS INTERNAS NA INTERFACE ADESIVA E DUREZA DE RESINAS *BULK FILL* EM RESTAURAÇÕES DE CAVIDADES CLASSE I UTILIZANDO DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE FOTOATIVAÇÃO

Dissertação apresentada como pré-requisito para obtenção do título de Mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, no curso de Mestrado em Odontologia

- Área de Concentração em Dentística Restauradora. Linha de Pesquisa: Propriedades físico-químicas e biológicas dos materiais.

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Galvão Arrais

PONTA GROSSA
2022

A786 Arteaga Chimá, María Victoria
Análise da formação de fendas internas na interface adesiva e dureza de resinas *Bulk Fill* em restaurações de cavidades classe I utilizando diferentes estratégias de fotoativação / María Victoria Arteaga Chimá. Ponta Grossa, 2022. 52 f.

Dissertação (Mestrado em Odontologia - Área de Concentração: Dentística Restauradora), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Galvão Arrais.

1. Fotopolimerização. 2. Fenda. 3. Resina composta. I. Arrais, César Augusto Galvão. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Dentística Restauradora. III.T.

CDD: 617.6

MARÍA VICTORIA ARTEAGA CHIMÁ

Análise da formação de fendas internas na interface adesiva e dureza de resinas Bulk Fill em restaurações de cavidades Classe I utilizando diferentes estratégias de fotoativação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto sensu em Odontologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração em Dentística Restauradora, linha de pesquisa de Propriedades Físico-Químicas e Biológicas dos Materiais.

Ponta Grossa, 17 de fevereiro de 2022.



Prof. Dr. César Augusto Galvão Arrais
Universidade Estadual de Ponta Grossa



Prof. Dr. César Alberto Pomacóndor Hernández
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas



Prof^a. Dr^a. Ana Claudia Rodrigues Chibinski
Universidade Estadual de Ponta Grossa

DADOS CURRICULARES

María Victoria Arteaga Chimá

NASCIMENTO	20-10-1996 Popayán - Cauca - Colômbia
FILIAÇÃO	Jesús Ariel Arteaga Navas Aidée Chimá Cedeño
2014/2020	Curso de Graduação em Odontologia Universidad Antonio Nariño (UAN), Palmira, Colômbia.
2020/2022	Curso de Pós-Graduação em Odontologia. Área de concentração: Dentística Restauradora: Nível Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), PR, Brasil

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por todas suas benções e sempre guiar meu caminho

Aos meus pais, **Jesús e Aidée**, obrigada por me trazerem até aqui, pelo eterno apoio e amor inesgotável. Aos meus irmãos **Claudia, Ivonne, Daniel e Julián** pelo seu apoio, incentivo, conselhos e todo seu amor, apesar da distância sempre os senti perto de mim.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. César Augusto Galvão Arrais**, por seus ensinamentos, sua paciência, suas contribuições e sua dedicação.

Ao meu grande amigo **Cristián Yáñez**, por toda sua ajuda neste trabalho, por seus ensinamentos, seu apoio e sua valiosa companhia, sem você não teria sido possível.

A **Juliana Guarneri**, companheira do mestrado e **Gabriel Voltareli**, aluno de iniciação científica.

Ao **Prof. Dr. Luís Arana Gordillo** por me dar a oportunidade de fazer este mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - **CAPES**, pela bolsa de estudos concedida no decorrer do curso (O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001).

A todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para conclusão de este trabalho que representa o final de mais uma etapa na minha vida.

RESUMO

ARTEAGA, V. **Análise da formação de fendas internas na interface adesiva e dureza de resinas *bulk fill* em restaurações de cavidades classe I utilizando diferentes estratégias de fotoativação.** [Dissertação - Mestrado em Dentística Restauradora - Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2022]

O objetivo do estudo foi analisar a formação de fendas na interface adesiva e dureza Vickers (VHN) de restaurações de resina *bulk fill* de baixa e alta viscosidade utilizando diferentes estratégias de fotoativação. O estudo, previamente aprovado pelo CEP (4.881.321/2021), utilizou 80 terceiros molares ($n=5$) onde cavidades Classe I padronizadas foram confeccionadas e restauradas de acordo com os seguintes grupos: Tetric N-Ceram Bulk Fill (TNC - Ivoclar Vivadent) e SureFill SDR Plus (SDR - Dentsply Sirona) ambas inseridas em incremento único. As resinas foram fotoativadas com fotopolimerizador LED *polywave* (Bluephase 20i - Ivoclar Vivadent) de acordo com cada grupo experimental: 10" oclusal (Técnica 1); 40" oclusal (Técnica 2); 20" oclusal, 10" vestibular, 10" lingual (Técnica 3); 10" vestibular, 10" lingual, 20" oclusal (Técnica 4). Os dentes restaurados foram avaliados em duas condições, após 72 h do procedimento restaurador e após termociclagem. A superfície vestibular foi desgastada no sentido do longo eixo do dente até a expor a superfície interna da restauração. Solução evidenciadora de cárie (Maquira Dental Group) foi aplicada sobre a interface adesiva exposta. O comprimento das fendas da interface foi medido e a porcentagem calculada com base no comprimento total da interface. Para análise da VHN foram feitas três endentações na área do topo da superfície interna da restauração, próxima à face oclusal, como também na base, próxima à interface criada na parede pulpar: na região mesial, centro e distal. Os resultados de formação de fenda foram analisados por meio de ANOVA 2 fatores seguida pelo teste de Bonferroni ($\alpha=0,05$). Os resultados VHN foram avaliados por meio de ANOVA 2 fatores seguida pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Para as resinas TNC e SDR não foram observadas diferenças significativas quando comparadas as diferentes técnicas de fotoativação. Após termociclagem, as Técnicas 1 e 2 de fotoativação promoveram valores significativamente maiores de formação de *fenda* quando comparados com o intervalo de 72 h tanto para a resina TNC quanto para a SDR ($p=0,03$ e $p<0,01$, respectivamente). Não houve diferença significativa entre as regiões avaliadas no mesmo grupo no caso da Técnica 2, 3 e 4 e na comparação das regiões avaliadas entre as diferentes técnicas em ambos os intervalos. Na resina SDR os valores de dureza observados quando utilizada a Técnica 3 foram superiores àqueles obtidos quando utilizada a Técnica 1 ($p=0,034$). Pode-se concluir que as técnicas que envolvem maiores valores de exposição irradiante não influenciaram na formação de fendas de interface, independente do tipo de resina composta *Bulkfill* utilizada. Porém, a técnica escolhida pode influenciar nos valores de dureza conforme dependendo do compósito utilizado. Do mesmo modo, o impacto da termociclagem na formação de fendas está relacionado à técnica de fotoativação.

Palavras chave: fotopolimerização, *fenda*, resinas compostas.

ABSTRACT

ARTEAGA, V. **Analysis of internal gap formation at the adhesive interface and hardness of bulk fill resins in class I cavity restorations using different light-curing strategies.** [Dissertação - Mestrado em Dentística Restauradora - Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2022]

The aim of the study was to analyze gap formation at the adhesive interface and Vickers hardness (VHN) of low- and high- viscosity bulk fill resin restorations using different light-curing strategies. The study, previously approved by the CEP (4,881,321/2021), used 80 third molars (n=5) where standardized Class I cavities were made and restored according to the following groups: Tetric N-Ceram Bulk Fill (TNC - Ivoclar Vivadent) and SureFill SDR Plus (SDR - Dentsply Sirona) both inserted in a single increment. The resins were light cured with a polywave LED curing light (Bluephase 20i - Ivoclar Vivadent) according to each experimental group: 10" occlusal (Technique 1); 40" occlusal (Technique 2); 20" occlusal, 10" buccal, 10" lingual (Technique 3); 10" buccal, 10" lingual, 20" occlusal (Technique 4). The restored teeth were evaluated in two conditions, 72 h after the restorative procedure and after thermocycling. The buccal surface was ground along the long axis of the tooth until exposing the inner surface of the restoration. Caries Evidencing Solution (Maquira Dental Group) was applied over the exposed adhesive interface. The length of the interface gaps was measured and the percentage calculated based on the total length of the interface. To analyze the VHN, three indentations were made in the area of the top of the inner surface of the restoration, close to the occlusal surface, as well as at the base, close to the interface created in the pulp wall: in the mesial region, center. The gap formation results were analyzed by means of 2-way ANOVA followed by the Bonferroni test ($\alpha=0.05$). The VHN results were evaluated by means of 2-way ANOVA followed by the d test and Tukey ($\alpha=0.05$). For TNC and SDR resins, no significant differences were observed when comparing the different light curing techniques. After thermocycling, Photoactivation Techniques 1 and 2 promoted significantly higher values of gap formation when compared to the 72 h interval for both TNC and SDR resins ($p=0.03$ and $p<0.01$, respectively). There was no significant difference between the regions evaluated in the same group in the case of Technique 2, 3 and 4 and in the comparison of the regions evaluated between the different techniques in both intervals. In the SDR resin, the hardness values observed when using Technique 3 were higher than those obtained when using Technique 1 ($p=0.034$). It can be concluded that the techniques that comprise higher values of radiant exposure did not influence the gap formation, regardless of the type of Bulkfill composite resin. However, the chosen technique can influence the hardness values depending on to the composite. Likewise, the impact of thermocycling on gap formation is related to the photoactivation technique.

Keywords: light curing, gap, resin composite.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Confecção do preparo cavitário. Em A pode-se observar o terceiro molar hígido. Em B, C e D pode-se observar o uso da sonda periodontal Carolina do Norte para conferir o tamanho da cavidade.....	24
Figura 2.	Confecção dos espécimes. Em A pode-se observar a linha equidistante entre a face vestibular e palatina. Em B, o preparo do anel de PVC e cera, em C o dente fixado com a face vestibular exposta. Em D uma vista frontal do dente fixado no anel de PVC.....	26
Figura 3.	Corado dos espécimes. Em A pode-se observar o microbrush impregnado da solução evidenciadora de cárie. Em B, a aplicação do corante na interface da restauração e em C a remoção dos excessos.....	27
Figura 4.	Uso do software ImageJ mensurando o comprimento total da interface adesiva na imagem obtida do espécime.....	28
Figura 5.	Esquema representativo das três endentações feitas próximas à face oclusal e base da restauração na região mesial, centro e distal.....	29
Gráfico 1.	Dureza Vickers para a resina TNC no tempo imediato.....	32
Gráfico 2.	Dureza Vickers para a resina TNC após termociclagem.....	32
Gráfico 3.	Dureza Vickers para a resina SDR no tempo imediato.....	33
Gráfico 4.	Dureza Vickers para a resina SDR após termociclagem.....	33
Gráfico 5.	Razão base / topo resina TNC no tempo imediato.....	34
Gráfico 6.	Razão base / topo resina TNC após termociclagem.....	35
Gráfico 7.	Razão base / topo resina SDR no tempo imediato.....	35
Gráfico 8.	Razão base / topo resina SDR após termociclagem.....	36
Quadro 1.	Resinas compostas utilizadas no estudo (material, fabricante, lote e composição).....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Grupos experimentais e estratégias de fotopolimerização.....	23
Tabela 2. Médias de <i>gaps</i> (%) formados após ciclagem térmica com diferentes modos de fotoativação.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
h	Hora
LED	<i>Light Curing Unit</i>
j/cm ²	Joule por centímetro quadrado
kgf	Quilograma-força
mm	Milímetro
mW	Miliwatt
mw/cm ²	Miliwatt por centímetro quadrado
nm	Nanômetro
rpm	Rotação por minuto
s	Segundo
SDR	SureFill SDR Plus
TNC	Tetric N-Ceram <i>Bulk Fill</i>
VHN	Dureza Vickers
µm	Micrômetro

LISTA DE SIMBOLOS

° C	Grau Celsius
™	Marca registrada
%	Porcentagem
®	Registrado
±	Mais ou menos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	RESINAS COMPOSTAS.....	15
2.1.1	Resinas compostas convencionais	15
2.1.2	Resinas compostas <i>bulk fill</i>	16
2.2	UNIDADES FOTOPOLIMERIZADORAS.....	17
2.3	CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, ESTRESSE DE CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E FORMAÇÃO DE FENDA EM RESINAS <i>BULK FILL</i>	18
2.3.1	Técnicas de fotoativação.....	19
3	PROPOSIÇÕES.....	21
3.1	PROPOSIÇÃO GERAL.....	21
3.2	PROPOSIÇÃO ESPECÍFICA.....	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	22
4.2	PREPARO DOS DENTES.....	23
4.3	PROCEDIMENTO RESTAURADOR E EXPOSIÇÃO AO FOTOPOLIMERIZADOR	25
4.4	SIMULAÇÃO DE ENVELHECIMENTO POR MEIO DETERMOCICLAGEM.....	25
4.5	CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA PARA ANÁLISE DAS PROPRIEDADES.....	26
4.6	ANÁLISE DAS IMAGENS.....	28
4.7	AVALIAÇÃO DA DUREZA VICKERS.....	28
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
5	RESULTADOS.....	31
5.1	ANÁLISE DA FORMAÇÃO E COMPRIMENTO DE FENDAS NA INTERFACE.....	31
5.2	ANÁLISE DA DUREZA VICKERS.....	31
6	DISCUSSÃO.....	37
7	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS	43
ANEXO A	APROVAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA PELA COMISSÃO DE ÉTICA EM PESQUISA.....	51

1 INTRODUÇÃO

Na última década, avanços no desenvolvimento de materiais restauradores levaram ao desenvolvimento de resinas compostas do tipo *bulk fill*. Estas resinas permitem a inserção de camadas de até 4 a 5 mm nos dentes posteriores, possibilitando o preenchimento total da cavidade de uma única vez (Flury et al. ¹ 2012; Czasch e Ilie ² 2013). Para que isso se tornasse possível, diferentes tipos e tamanhos de partículas de carga foram incorporados para promover uma maior translucidez na resina, além de fotoiniciadores mais reativos e monômeros atuando como moduladores da reação de polimerização, resultando subsequentemente numa tensão de contração reduzida, maior transmissão da luz assim como maior profundidade de polimerização, respectivamente (Fronza et al. ³ 2015). Por essas características, atualmente as resinas *bulk fill* são amplamente disponibilizadas no mercado odontológico (Dewaele et al. ⁴ 2009).

Com o desenvolvimento dessas novas tecnologias para permitir uma fotoativação mais eficiente das resinas *bulk fill* juntamente com o desenvolvimento dos fotopolimerizadores a base de LED (*Light Emitting Diode* - Diodo Emissor de Luz) de alta potência, alguns fabricantes passaram a recomendar tempos menores de fotoativação, passando dos convencionais 40 s à utilização de 10 s ou menos. Porém, estudos recentes têm demonstrado que tempos de fotoativação tão curtos podem não ser suficientes para fotopolimerizar adequadamente as resinas compostas *bulk fill*, influenciando nas propriedades mecânicas do material (Shimokawa et al. ⁵ 2020). Como consequência disso, exposições por tempos mais prolongados têm sido recomendados (Ceballos et al. ⁶ 2009; David et al. ⁷ 2007). Em contraste com essas recomendações de curto tempo de exposição, alguns fabricantes recomendam diferentes técnicas de fotoativação de resinas *bulk fill* envolvendo exposições mais longas, como por exemplo a técnica “transdental”. Essa técnica foi introduzida a partir da ideia de que a direção dos vetores da contração seguia a posição da luz (Versluis et al. ⁸ 1998), porém tem sido evidenciado que depende de muitos outros fatores (Kaisarly et al. ⁹ 2021). Além disso, um estudo recente mostrou que alguns clínicos (48%) desconhecem os valores de irradiância de seus fotopolimerizadores e que não seguem as recomendações dos fabricantes (Ernst et al. ¹⁰ 2018). Em outras palavras, estes profissionais podem tanto utilizar tempos menores do que aqueles

recomendados como também promover exposições por tempos prolongados utilizando técnicas transdentais.

Um importante aspecto a ser considerado tanto nestas recomendações como nas atitudes de alguns clínicos está relacionado à tensão gerada pela contração de polimerização. Embora a contração de polimerização das resinas *bulk fill* seja similar à das resinas compostas (Sampaio et al. ¹¹ 2019; Almeida Junior et al. ¹² 2018; Abbasi et al. ¹³ 2018) e as tensões geradas possam ser menores do que aquelas geradas pelas resinas convencionais dependendo de cada material (Rizzante et al. ¹⁴ 2019), é um fenômeno que está relacionado a diversos fatores como módulo de elasticidade (Calheiros et al. ¹⁵ 2004; Tantbirojn et al. ¹⁶ 2011), conteúdo de carga (Leprince et al. ¹⁷ 2013), grau de conversão (Boaro et al. ¹⁸ 2010), assim como variáveis relacionadas à fotopolimerização (Hofmann et al. ¹⁹ 2003). Desse modo, dependendo da magnitude da contração, tensões podem ser geradas afetando a interface adesiva da restauração, resultando na formação de fendas marginais (Al-Harbi et al. ²⁰ 2016; Savadi Oskoe et al. ²¹ 2017; Benetti et al. ²² 2015) e na interface adesiva criada no interior da cavidade (Fronza et al. ³ 2015; Sampaio et al. ¹¹ 2019; Furness et al. ²³ 2014). Por esse motivo, alguns estudos têm observado menor formação de fendas de interface no interior das restaurações quando algumas resinas compostas *bulk fill* apresentavam menor grau de conversão na base da restauração (Hayashi et al. ²⁴ 2019), contribuindo para menor tensão de contração e menor formação de *fendas* (Almeida et al. ²⁵ 2017). Tais achados reforçam a influência da quantidade de exposição radiante que a restauração recebe, que é expressa em J/cm² (Rueggeberg et al. ²⁶ 1994; Halvorson et al. ²⁷ 2002; Emami e Soderholm ²⁸ 2003) no grau de conversão, o qual, juntamente com a cinética de polimerização, possui direta relação com a tensão de contração gerada no interior do preparo cavitário (Venhoven et al. ²⁹ 1996; Silikas et al. ³⁰ 2000). Em outras palavras, menor tensão de contração seria gerada quando resinas compostas apresentassem uma menor polimerização na região de base (Hayashi et al. ²⁴ 2019).

A efetividade da polimerização está relacionada com a profundidade de polimerização (Flury et al. ¹ 2012; Garoushi et al. ³¹ 2013). A dureza do material tem correlação com o grau de conversão dos monômeros (Rueggeberg e Craig ³² 1988; Ferracane ³³ 1985). Como guia para determinar se a base da restauração está polimerizada adequadamente é sugerido que a diferença entre a dureza máxima superficial e a dureza da parte inferior do compósito não seja maior do que 20%

(ISO4049 ³⁴ 1988). Entretanto, na literatura atual, a informação de análise da formação de fenda e propriedades mecânicas em restaurações de cavidades Classe I com resinas compostas *bulk fill* polimerizadas com diferentes estratégias de fotoativação é escassa (Alves et al. ³⁵ 2008).

Deste modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes estratégias de polimerização na formação e comprimento de fendas na interface adesiva e dureza de resinas compostas *bulk fill*, 24 horas e após envelhecimento simulado por meio de termociclagem. As hipóteses nulas do estudo foram: (1) não há diferenças na formação de fendas na interface adesiva quando polimerizadas com diferentes estratégias de fotoativação; (2) não há diferenças na dureza das restaurações de resinas *bulk fill* polimerizadas com diferentes estratégias de fotoativação; (3) não há diferença na formação de fendas na interface adesiva após degradação por termociclagem entre restaurações polimerizadas com diferentes estratégias de fotoativação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RESINAS COMPOSTAS

2.1.1 Resinas compostas convencionais

Atualmente, a colocação de resinas compostas é um tratamento de rotina na odontologia restauradora. Desde sua introdução há mais de 50 anos, elas vêm em constante desenvolvimento produzindo materiais com excelente durabilidade, resistência e estética, permitindo seu uso em uma grande variedade de aplicações na odontologia que incluem materiais de restauração, selantes, *inlays*, *onlays*, assim como colagem de braquetes ortodônticos, entre outros. (Ferracane ³⁶ 2011)

Um dos maiores problemas relacionados à utilização das resinas compostas é a contração de polimerização (Carvalho et al. ³⁷ 1996), que se refere à redução do volume do material que ocorre durante o processo de fotoativação e que está relacionado com o desenvolvimento de diversos problemas clínicos (Davidson e Feilzer ³⁸ 1997; Braga et al. ³⁹ 2005). Para reduzir a contração, a técnica de inserção da resina composta em camadas é recomendada.

A técnica incremental é considerada protocolo standard em preparações de cavidades superiores aos 2mm, ela oferece diferentes benefícios como reduzir o fator-C, além de permitir uma fotopolimerização adequada de todo o incremento e diminuir a deflexão cuspídea (He et al. ⁴⁰ 2007; Kim e Park ⁴¹ 2011; Bicalho et al. ⁴² 2014). No entanto, apresenta algumas desvantagens associadas ao maior requerimento de tempo para sua aplicação, além do risco de incorporar impurezas e bolhas de ar entre as camadas (Olafsson et al. ⁴³ 2018).

Como resposta à grande demanda de simplificar os procedimentos, reduzir o tempo clínico, e superar os inconvenientes apresentados pelas resinas convencionais, as resinas compostas do tipo *Bulk fill* foram desenvolvidas e são utilizadas amplamente no mercado odontológico.

2.1.2 Resinas compostas *bulk fill*

As resinas *bulk fill* apresentam como principal característica a possibilidade de usar incrementos de 4 até 5mm (Czasch e Ilie ² 2013), reduzindo o tempo clínico das restaurações em dentes posteriores quando comparada com a técnica incremental (Bellinaso et al. ⁴⁴ 2019; Tardem et al. ⁴⁵ 2019).

Resinas compostas *bulk fill* apresentam alterações na sua composição que permitem maiores profundidades de polimerização (Reis et al. ⁴⁶ 2017) como a adição de moduladores de polimerização específicos (Fronza et al. ³ 2015) assim como o uso de sistemas iniciadores mais reativos, exemplo disso é a Ivocerin, fotoiniciador baseado em germânio que apresenta uma maior absorção de luz visível (Moszner et al. ⁴⁷ 2008).

Quando comparadas com as resinas convencionais possuem uma contração de polimerização muito semelhante e as tensões de contração geradas são menores segundo estudos (Sampaio et al. ¹¹ 2019; Almeida Junior et al. ¹² 2018; Abbasi et al. ¹³ 2018; Rizzante et al. ¹⁴ 2019), além disso, um comportamento clínico similar em restaurações posteriores (Velooso et al. ⁴⁸ 2019) e menor sensibilidade pós-operatória (Tardem et al. ⁴⁵ 2019; van Dijken e Pallesen ⁴⁹ 2016).

As resinas *bulk fill* estão disponíveis em dois tipos: resinas fluídas de baixa viscosidade (*flowable*) e resinas de alta viscosidade (*sculptable* ou *paste-like*) (Van Ende et al. ⁵⁰ 2017). As resinas *bulk fill* de baixa viscosidade estão indicadas para cavidades pequenas e menos acessíveis, assim como para cavidades pós endodônticas, onde tem se evidenciado uma menor criação de tensões quando utilizada (Oliveira Schliebe et al. ⁵¹ 2016). Esses materiais têm uma quantidade menor de carga que as resinas nano-híbridas ou micro-híbridas convencionais (Velooso et al. ⁴⁸ 2019), como consequência disso, apresentam propriedades mecânicas inferiores (Bucuta e Ilie ⁵² 2014) e é por isso que precisam de uma camada adicional de resina convencional (Van Ende et al. ⁵⁰ 2017).

Resinas *bulk fill* de alta viscosidade estão indicadas para cavidades extensas, principalmente em zonas de alta carga mastigatória (Miletic et al. ⁵³ 2016). Devido a sua maior quantidade de carga, este tipo de resina é altamente viscosa e apresenta melhor comportamento mecânico (Czasch e Ilie ² 2013; Didem et al. ⁵⁴ 2014), eliminando a necessidade de uma cobertura com resina convencional.

2.2 UNIDADES FOTOPOLIMERIZADORAS

Em virtude dos avanços e desenvolvimento de materiais dentários foi também necessária a evolução da tecnologia dos aparelhos de fotoativação com o propósito de ter uma melhor interação com as resinas compostas. Existe uma variedade de aparelhos fotopolimerizadores disponíveis no mercado odontológico: lâmpadas halógenas, arco de plasma, laser de argônio e diodos emissores de luz (LED) (Rueggeberg et al. ⁵⁵ 2017)

As lâmpadas LED de luz azul trouxeram como benefício maior eficiência e rentabilidade do que os outros tipos de aparelhos fotopolimerizadores anteriores, além de serem mais leves e recarregáveis. (Rueggeberg ⁵⁶ 2011).

Os primeiros aparelhos LED produziram um rendimento muito baixo, apresentando níveis de irradiância ao redor dos 100-280 mW/cm², no entanto, com algumas modificações conseguiram uma polimerização de compostos baseados em canforoquinona comparável com as lâmpadas de luz halógena da época (Leonard et al. ⁵⁷ 2002; Dunn e Bush ⁵⁸ 2002). A intensidade de luz mínima sugerida para polimerizar compostos de resina é de 400 mW/cm² em incrementos de até 2 mm (Rueggeberg et al. ²⁶ 1994; Shortall e Harrington ⁵⁹ 1996) garantindo sua interação com a canforoquinona, fotoiniciador presente na grande maioria de materiais resinosos que tem sua absorbância de luz no comprimento de onda de 468 nm (Brandt et al. ⁶⁰ 2010; Chen et al. ⁶¹ 2007; Cook ⁶² 1992).

Na busca de otimizar o desempenho desses aparelhos, foi desenvolvida a segunda geração de lâmpadas LED, caracterizadas por um grande aumento da potência de saída com intensidades ao redor dos 1000 mW/cm², oferecendo um maior rendimento e tempos de exposição mais curtos sem perda das propriedades do material (Uhl et al. ⁶³ 2004; Campregher et al. ⁶⁴ 2007).

Atualmente, está disponível a terceira geração de estes aparelhos, também chamados de *polywave* ou *multi-peak*, pois possuem a capacidade de gerar diferentes comprimentos de onda (Rueggeberg ⁵⁶ 2011) permitindo seu uso em compósitos com uma maior diversidade de fotoiniciadores além da canforoquinona, como Lucerina-TPO e Fenil-propanodiona (Santini et al. ⁶⁵ 2012; Cardoso et al. ⁶⁶ 2017). Além disso, possuem outras vantagens como: maior intensidade de luz, que superam os 1100 mW/cm² (Wahbi et al. ⁶⁷ 2012), menor frequência de manutenção (Omidi et al. ⁶⁸ 2018) e menor produção de calor (Mahant et al. ⁶⁹ 2016).

2.3 CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, ESTRESSE DE CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO E FORMAÇÃO DE FENDA EM RESINAS *BULK FILL*

A contração volumétrica ocorre durante a polimerização, refere-se a uma reação química que implica a divisão de doubles enlaces carbono-carbono em moléculas de monômero individuais e formação de enlaces simples para formar uma rede de polímero, essa reação produz uma redução do volume à medida que cria enlaces covalentes e se reduzem as distancias moleculares (Braga et al. ³⁹ 2005; Peutzfeldt ⁷⁰ 1997)

A polimerização de compostos a base de dimetacrilato vai acompanhada de uma contração volumétrica que varia entre 1% e 3% em compostos compactáveis e até 6% em compostos fluídos (Kleverlaan e Feilzer ⁷¹ 2005). Apresentando-se como um desafio persistente na odontologia restauradora.

A contração volumétrica cria tensões de contração que são geradas simultaneamente com a deformação do material em quanto adquire rigidez (Ferracane ⁷² 2005) e está associada com variáveis relacionadas ao material (quantidade de carga, química e estrutura do monômero, grau de conversão, modulo elástico, tipo de resina), assim como fatores relacionados à polimerização do material (técnica de fotoativação, lâmpada utilizada, exposição radiante, geometria da cavidade) (Labella et al. ⁷³ 1999; Condon e Ferracane ⁷⁴ 2000; Chen et al. ⁷⁵ 2001). Caso a tensão produzida seja maior do que a resistência de união da interface restauradora, fendas poderão ser criadas afetando a qualidade do sistema dente-restauração (Braga et al. ⁷⁶ 2003).

Resinas *bulk fill* mostraram valores de contração de polimerização similares às das resinas convencionais usando técnica incremental no estudo de Almeida et al. ⁵⁰ (2018). Para Sampaio et al. ⁵² (2019) a resina convencional mostrou valores semelhantes de contração de polimerização com as resinas *bulk fill* de baixa viscosidade, porém mostrou maior contração de polimerização que as resinas *bulk fill* de alta viscosidade, além disso também observou formação de fenda interna nos três tipos de resina. O que vai de encontro com o estudo de Abbasi et al. ⁴⁹ (2018) que encontrou maior contração de polimerização na resina convencional quando comparada com resinas *bulk fill*.

Fronza et al.³ (2015) investigaram a adaptação marginal interna e o estresse de contração de polimerização da resina convencional e sistemas *bulk fill* em cavidades classe I, onde encontraram uma correlação positiva entre esses.

2.3.1 Técnicas de fotoativação

Com o objetivo de minimizar a contração de polimerização das resinas compostas, técnicas alternativas de fotopolimerização têm sido sugeridas (Alves et al.³⁵ 2008; Sahafi et al.⁷⁷ 2001; Amaral et al.⁷⁸ 2004; Belan et al.⁷⁹ 2012).

A técnica “*Soft Start*”, por exemplo, tem sido amplamente pesquisada, é caracterizada por proporcionar uma exposição inicial de baixa intensidade por alguns segundos e continuar com uma exposição final de alta intensidade pelo tempo restante de fotoativação (Sahafi et al.⁷⁷ 2001; Yap et al.⁸⁰ 2001). Essa técnica tem duas modalidades, o método em rampa ou “*ramped curing*” e o método de polimerização em degrau também chamado de “*Stepped-curing*”. Não existe um consenso na literatura sobre os parâmetros de irradiância e tempo de duração, é possível encontrar diferentes valores tanto para a fase inicial de baixa intensidade quanto para a fase final de alta intensidade (Shimokawa et al.⁸¹ 2016).

Por outro lado, a técnica chamada “pulso tardio” é muito semelhante à técnica *Soft Start*, essa técnica consiste em um pulso de luz inicial de baixa intensidade, seguida de uma breve pausa sem exposição de 3 a 5 minutos, para logo receber uma exposição final de alta intensidade. Essa breve pausa tem o objetivo de diminuir a velocidade da polimerização (retardar o ponto gel), permitindo que ocorra o escoamento da resina. (Suh et al.⁸² 1999; Kanca e Suh⁸³ 1999).

A técnica transdental consiste em uma fotopolimerização contínua através da estrutura dental, de modo que a luz precisa atravessar a parede do dente para atingir o material restaurador. Essa técnica tem o mesmo objetivo de reduzir as tensões de contração, uma que a intensidade da luz é atenuada modificando a cinética da polimerização (Versluis et al.⁸ 1998; Prati et al.⁸⁴ 1999).

Sahafi et al.⁷⁷ (2001) avaliaram o efeito da técnica de fotoativação *Soft Start* na formação de fenda marginal em cavidades de dentina restauradas com resina composta, encontraram que essa técnica não conseguiu melhorar a adaptação

marginal do material restaurador quando comparada com a técnica de polimerização convencional.

No estudo de Amaral et al.⁷⁸ (2004) não encontraram diferenças significativas na formação de fenda utilizando a técnica *Soft Start*, pulso tardio e convencional na polimerização de resinas composta, não entanto, encontraram que a formação de *fenda* foi aumentada significativamente pela termociclagem em todos os grupos. Já no estudo feito por Belan et al.⁷⁹ (2012) observaram que a 4 mm de profundidade a técnica pulso tardio apresentou uma polimerização não satisfatória por meio da VHN.

Alves et al.³⁵ (2008) investigaram a influência de técnica de fotoativação transdental na adaptação marginal e dureza de restaurações de resina e encontraram que a associação da fotoativação transdental com fotoativação direta das restaurações pode melhorar a adaptação marginal sem detrimento das propriedades mecânicas do material.

São escassos os estudos que avaliam as diferentes técnicas de fotoativação e sua influência na formação de fendas internas em preparos classe I restaurados com resinas *bulk fill*. Diante do exposto pela literatura, acredita-se que o uso de diferentes estratégias de polimerização associadas à técnica transdental poderia diminuir a formação e comprimento de fendas internas na interface adesiva sem influenciar negativamente nas propriedades mecânicas de resinas *bulk fill*.

3 PROPOSIÇÕES

3.1 PROPOSIÇÃO GERAL

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a influência de diferentes estratégias de fotoativação na formação e comprimento de fendas internas na interface adesiva e propriedades mecânicas de resinas compostas *bulk fill* em restaurações de cavidades classe I em terceiros molares hígidos.

3.2 PROPOSIÇÃO ESPECÍFICA

- Analisar a dureza de resinas *bulk fill* de baixa e alta viscosidade após diferentes estratégias de fotoativação;
- Observar qual o efeito do envelhecimento com o auxílio da termociclagem sobre a restauração após diferentes estratégias de fotoativação e quanto isto afeta a propriedade de dureza e formação de fendas internas na interface adesiva em resinas compostas *bulk fill* em restaurações de cavidades classe I.

4 MATERIAIS E METODOS

4.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As cavidades preparadas foram restauradas de acordo com os seguintes grupos experimentais: resina composta Tetric N-Ceram *Bulk Fill* (TNC, Ivoclar Vivadent, Principado de Lichestein, Austria); e resina composta SureFill SDR Plus (SDR, Dentsply Sirona, York, PA, EUA), ambas inseridas na cavidade em incremento único conforme instruções do fabricante. As resinas e composição podem ser visualizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Resinas compostas utilizadas no estudo (material, fabricante, lote e composição)

Figura	Material	Cor	Fabricante/ Lote	Composição*
	Tetric® N- Ceram <i>Bulk Fill</i>	IVA	Ivoclar Vivadent/ W94624	Dimetacrilato de uretano, BIS- GMA, BIS-EMA etoxilado, dimetacrilato de trietilenoglicol; vidro de bário, trifluoreto de itérbio, óxidos mistos, dióxido de silício, pré-polímeros, aditivos, estabilizadores, catalisadores, pigmentos.
	SureFill® SDR® Plus Flow	Universal	Dentsply Sirona/ 170825	Vidro de bário-alumínio-fluor-borosilicato, vidro de estrôncio-alumínio-fluor-silicato, vidro de trifluoreto de itérbio, dióxido de silicone, resina modificada de dimetacrilato de uretano, resina de dimetacrilato polimerizável, resina de trimetacrilato polimerizável, trietilenoglicol dimetacrilato, foto iniciador canforquinona (CQ), foto-acelerador. hidroxitolueno butilado (BHT), estabilizador UV, dióxido de titânio, óxido de ferro inorgânico, agente fluorescente, as partículas de carga inorgânica vão de 20 nm a 10 µm, 47,3% de carga total por volume.

* Composição de acordo com o fabricante

Cada grupo foi exposto a diferentes estratégias de fotoativação de acordo com a Tabela 1 com o uso do fotopolimerizador LED *polywave* de alta potência (Bluephase 20i, Ivoclar Vivadent) no modo de exposição “High” que corresponde

a uma irradiância de 1200 mW/cm². Após o procedimento restaurador, a metade dos dentes foram armazenados em umidade relativa por 24 horas, enquanto a outra metade foi submetida a 10.000 ciclos em termociclagem simulando o uso clínico de aproximadamente 1 ano. Desta forma, o esquema fatorial do estudo consistiu em 3 variáveis independentes (material, estratégia de fotoativação e desafio térmico), sendo o fator "material" contendo 2 subníveis, fator "desafio térmico" com 2 subníveis e "estratégia de fotoativação" com 4 subníveis. O esquema fatorial resultou em um total de 16 grupos experimentais, com 5 repetições para cada grupo (n = 5).

Tabela 1 - Grupos experimentais e estratégias de fotopolimerização

Grupos experimentais	Estratégia de polimerização	Valores de exposição radiante
Tetric N-Ceram <i>Bulk Fill</i>	10" oclusal (Técnica 1)	12 J/cm ²
	40" oclusal (Técnica 2)	48 J/cm ²
	20" oclusal, 10" vestibular, 10" lingual (Técnica 3)	48 J/cm ²
SureFill SDR Plus <i>Flow</i>	10" vestibular, 10" vestibular, 20" oclusal (Técnica 4)	48 J/cm ²

As variáveis dependentes que foram avaliadas são: análise da formação de fendas internas na interface adesiva e microdureza Vickers (VHN - *Vickers hardness*) das resinas compostas no topo e na base do incremento de resina composta inserido no interior da cavidade.

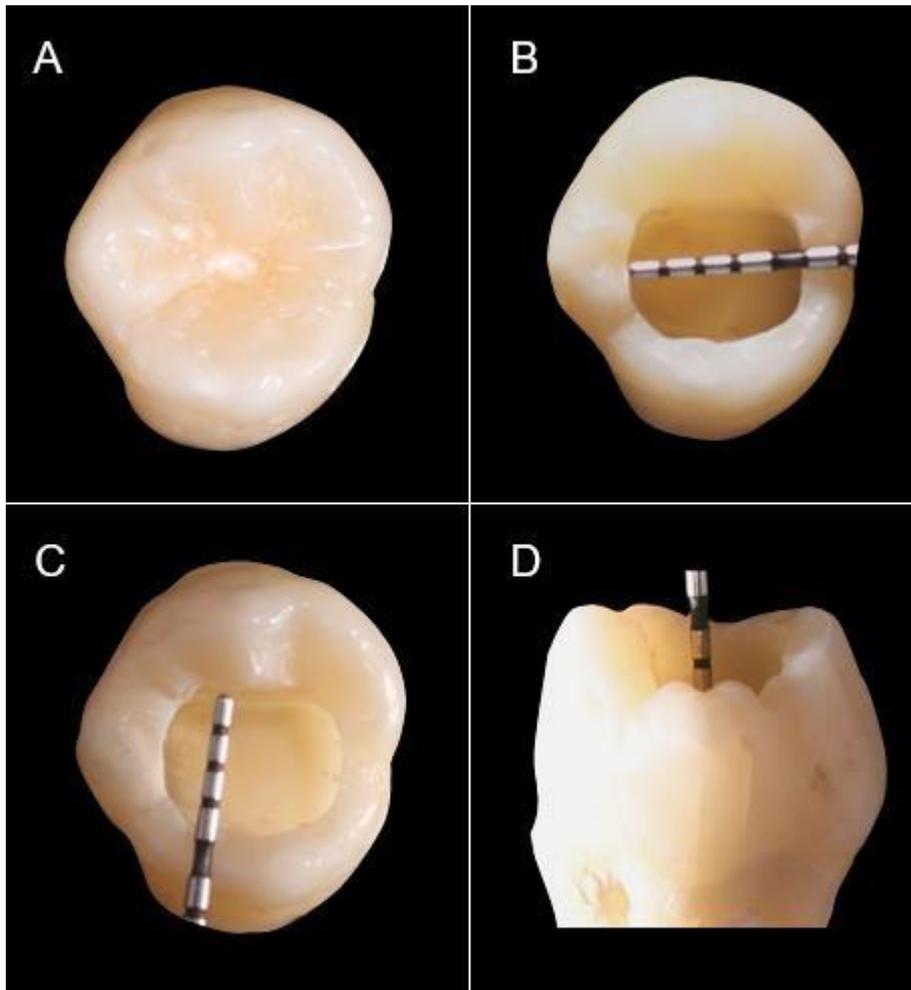
4.2 PREPARO DOS DENTES

O estudo, previamente aprovado pelo Comitê de Ética Local (4.881.321/2020), utilizou 80 terceiros molares superiores e inferiores hígidos (n = 5) que foram retirados do Banco de Dentes da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Os dentes selecionados para o presente estudo obedeceram aos seguintes critérios de inclusão: terceiros molares em bom estado de conservação, intactos e de tamanho semelhantes entre eles. Os critérios de exclusão foram

dentes que apresentavam alterações de esmalte e/ou dentina, cariados ou com restaurações.

Cavidades classe I oclusais padronizadas foram confeccionadas nos dentes com auxílio de broca diamantada cônica com borda arredondada número 2133 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) e broca diamantada tronco-cônica com extremo arredondado número 3131 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) em turbina alta rotação sob irrigação constante por operador previamente calibrado. A cavidade foi confeccionada com largura de 5 mm, comprimento de 4 mm tendo como referência a cúspide mais baixa do dente e altura de 4 mm. Os tamanhos foram conferidos com o auxílio de uma sonda periodontal Carolina do Norte n°15 (Hu-Friedy®, Chicago, IL, EUA) (Figura 1).

Figura 1 - Confeção do preparo cavitário. Em A pode-se observar o terceiro molar hígido. Em B, C e D pode-se observar o uso da sonda periodontal Carolina do Norte para conferir o tamanho da cavidade.



Fonte: O autor

4.3 PROCEDIMENTO RESTAURADOR E EXPOSIÇÃO AO FOTOPOLIMERIZADOR

Após confecção dos preparos cavitários, jato de ar e água foi aplicado nas cavidades para remoção de resíduos, sendo então secas com jato de ar isento de óleo ou água. Para cada resina, foi utilizado o sistema adesivo recomendado pelo fabricante. Deste modo, os sistemas adesivos Tetric N-Bond (Ivoclar Vivadent, Principado de Lichestein, Austria) e Prime&Bond Universal (Dentsply Sirona, Milford, DE, EUA) foram aplicados nas cavidades utilizando o modo *etch-and-rinse* seguindo as instruções do fabricante. Cavidades foram condicionadas com gel de ácido ortofosfórico ao 37% (Ultra Etch, Ultradent, South Jordan, UT) por 15 s e lavadas com jato de água pelo dobro de tempo, o excesso de umidade foi removido com ajuda de papel absorvente. Posteriormente, os sistemas adesivos foram aplicados vigorosamente durante 10 s, seguidamente foi aplicado um leve jato de ar por 10 s e finalmente foram fotopolimerizados por 10 s.

Após a aplicação e fotoativação dos sistemas adesivos, a resina composta TNC foi inserida na cavidade em incremento de 4 mm, do mesmo modo para a resina composta SDR, de acordo com as instruções dos fabricantes. As resinas compostas foram então fotoativadas de acordo com cada grupo experimental como pode ser observado na Tabela 1. Os dentes restaurados ficaram imersos em água destilada por 24 h, para então serem submetidos aos testes. A dureza das resinas compostas na face interna da restauração foi avaliada após 72 h em 40 dentes, enquanto os 40 dentes restantes foram submetidos à simulação de envelhecimento por meio de termociclagem.

4.4 SIMULAÇÃO DE ENVELHECIMENTO POR MEIO DE TERMOCICLAGEM

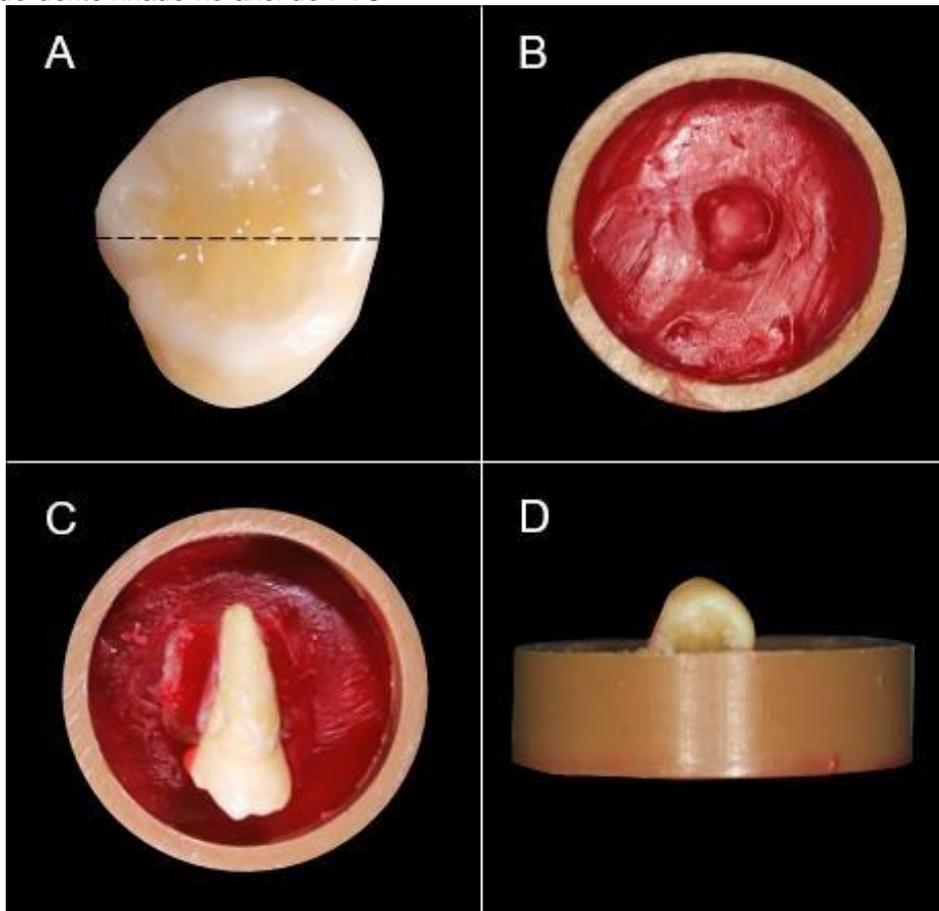
Para a realização da termociclagem, os dentes restaurados para análise de formação de fendas foram submetidos a 10.000 ciclos de temperatura (temperaturas de 5 ± 1 °C e 55 ± 1 °C em câmaras de água, por 15 s por banho) em uma termocicladora (Termocicladora OMC300- Odeme Dental Research, Luzema, SC, Brasil) para simular o envelhecimento dentro da cavidade oral, em aproximadamente 1 ano de uso clínico.

Após a termociclagem os dentes foram armazenados em água destilada.

4.5 CONFECÇÃO CORPOS-DE-PROVA PARA ANÁLISE DAS PROPRIEDADES

Foram traçadas linhas com lápis marcando a metade da restauração e o longo eixo do dente em sentido mesio-distal (Figura 2A). Cada dente foi posicionado no centro de um anel de policloreto de vinila (PVC) (Figura 2B), e resina epóxica (Resina rígida- Alpha Resiqualy, São Paulo, SP, Brasil) foi vertida em cada anel para fornecer uma matriz de inclusão firme. As amostras foram colocadas com a face vestibular exposta de modo que somente a metade da coroa ficasse imersa na resina enquanto a outra metade permanecia exposta (Figuras 2C e 2D). Após a fixação, os espécimes foram colocados em estufas com umidade relativa para evitar a desidratação da dentina por 48h.

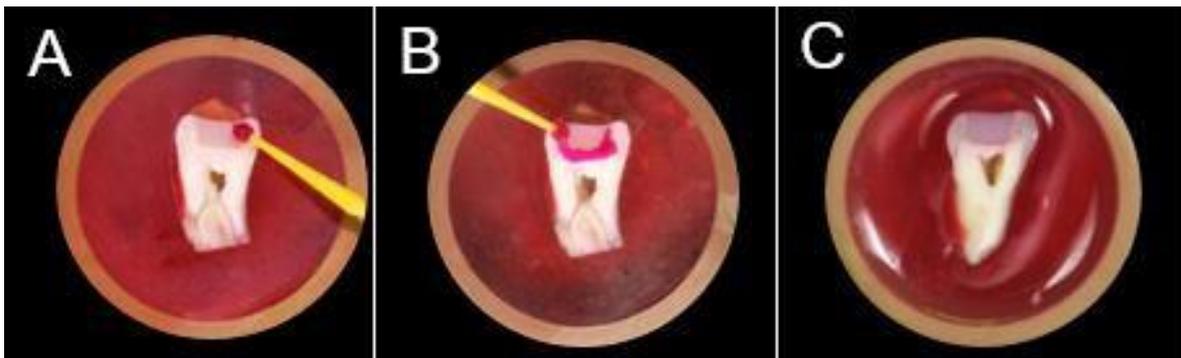
Figura 2 - Confeção dos espécimes. Em A pode-se observar a linha equidistante entre a face vestibular e palatina. Em B, o preparo do anel de PVC e cera, em C o dente fixado com a face vestibular exposta. Em D uma vista frontal do dente fixado no anel de PVC



Fonte: O autor

Após o armazenamento, a face vestibular foi desgastada e polida utilizando uma sequência de papéis abrasivos de carboneto de silício (3M, Sumaré, SP) na ordem decrescente de granulação: 180, 360, 600, 1200, 2400, respectivamente, sob irrigação constante para evitar aquecimento dos espécimes, até expor a superfície interna da restauração na metade da coroa, no longo eixo do dente (Figura 3A). Após isso, foi utilizado um disco de feltro auto-adesivo para polimento metalográfico (AROTEC S/A© Ind. e Comércio, FVL, SP, Brasil) com 200 mm de diâmetro, modelo RAM e uma pasta de diamante (AROTEC S/A© Ind. e Comércio, tipo S, SP, Brasil) com granulação de 6 µm para o polimento final das amostras. Após os espécimes serem secos com toalhas de papel, uma pequena quantidade de solução evidenciadora de cárie (Maquira Dental Group, Maringa, PR) foi dispensada num vaso *dappen* e aplicada sobre a interface restauradora com auxílio de um *microbrush* (KG brush, KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil) para análise da presença e comprimento das fendas ao longo da interface restauradora (Figura 3B), de acordo com a metodologia realizada por Furness et al. (2014). O excesso de corante foi removido com papel toalha de laboratório (Figura 3C).

Figura 3 – Corado dos espécimes. Em A pode-se observar o microbrush impregnado da solução evidenciadora de cárie. Em B, a aplicação do corante na interface da restauração e em C a remoção dos excessos.

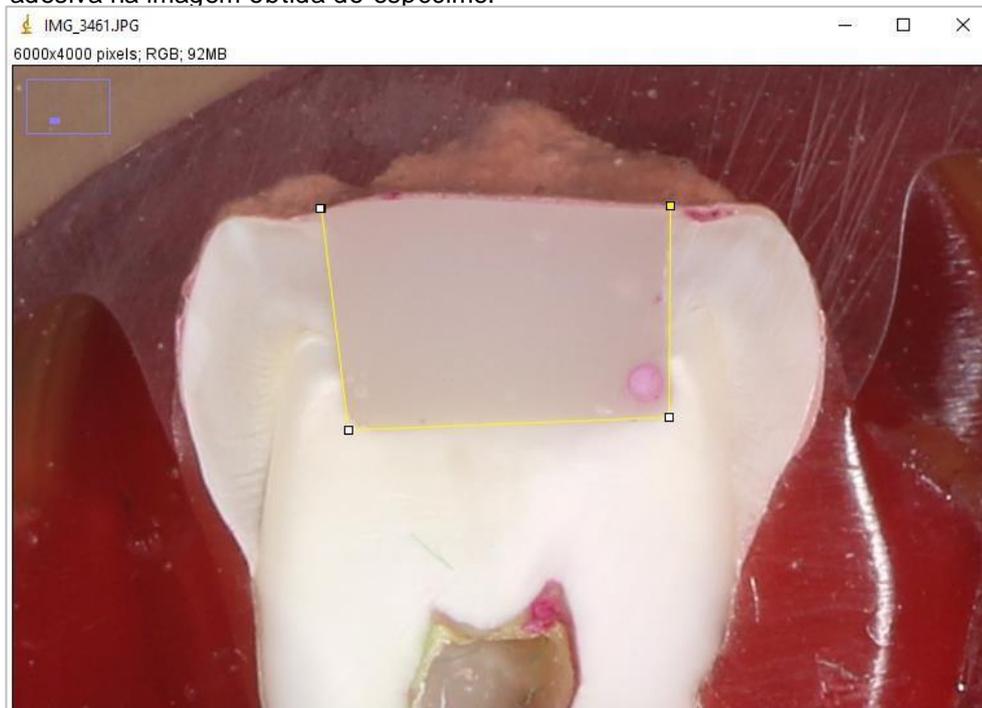


Fonte: O autor

4.6 ANÁLISE DAS IMAGENS

Imediatamente após remoção do excesso de corante, imagens de cada espécime foram obtidas com câmera digital (Canon t6i, Ôta, Tokio, Japão). As imagens foram projetadas utilizando um software de análise de imagem (ImageJ v1.46r, National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). Usando este software, o comprimento da interface marginal foi determinado e a porção do comprimento marginal com presença de fenda (identificada como presença de mancha) foi medida como uma porcentagem do comprimento total da interface (Figura 4).

Figura 4 – Uso do software ImageJ mensurando o comprimento total da interface adesiva na imagem obtida do espécime.



Fonte: O autor

4.7 AVALIAÇÃO DA DUREZA VICKERS

As amostras preparadas para análise de microdureza foram colocadas no microdurômetro SHIMADZU HMV (Newage Testing Instruments, Southampton, PA, EUA). Três endentações foram realizadas em diferentes áreas do topo da superfície interna da resina composta, próxima à face oclusal, bem como também na base da superfície interna, próxima à interface criada na parede pulpar: na

região mesial, no centro e distal (Figura 5). A distância entre as endentações e a face oclusal, assim como para a parede pulpar foi de 100 µm, do mesmo entre as endentações em cada região. Neste equipamento, foi utilizada uma carga de 100 g (0,98 N) e um tempo de permanência de 10 s. A seguinte fórmula foi utilizada para calcular o número de dureza Vickers (VHN), que é a razão entre a carga aplicada no endentador P (kgf) e a área superficial de impressão em mm²:

$$VHN = \frac{P}{A} = \frac{P}{C_p L^2}$$

Onde:

“P” é a carga aplicada em kgf;

“A” é a área superficial de impressão em mm²;

“L” é o comprimento da impressão (em mm) ao longo da diagonal maior;

“Cp” é a constante relacionada com a área do recuo (0, 70).

A razão de dureza entre a base e o topo também foi determinada.

Figura 5 – Esquema representativo das três endentações feitas próximas à face oclusal e base da restauração na região mesial, centro e distal.



Fonte: O autor

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise das fendas utilizou-se uma ANOVA 2 fatores utilizando bootstrap, seguido pelo teste de Bonferroni ($\alpha=0,05$). Os resultados de dureza foram analisados por meio de ANOVA 2 fatores seguida pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DA FORMAÇÃO E COMPRIMENTO DE FENDAS NA INTERFACE

Os valores de fendas e desvio padrão das resinas TNC e SDR nos intervalos de 72 h e termociclagem podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Média (desvio-padrão) da extensão das fendas (%) formadas após diferentes protocolos de fotoativação e intervalos.

		Técnica 1	Técnica 2	Técnica 3	Técnica 4
TNC	72 h	18,00 (3,33)Ba	21,30 (5,01)Ba	24,73 (6,78)Ba	20,06 (7,32)Ba
	Termociclagem	26,21 (3,82)Aa	32,07 (6,88)Aa	22,84 (7,30)Ba	14,30(3,78)Ba
SDR	72 h	14,30 (3,78)Da	10,32 (1,99)Da	20,49 (7,85)Aa	17,72 (1,80)Aa
	Termociclagem	23,60 (6,30)Ca	24,57 (7,89)Ca	19,41 (7,68)Aa	19,96 (9,02)Aa

Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas entre linhas; minúsculas entre colunas) são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$)

Para as resinas TNC e SDR, não foram observadas diferenças significativas quando comparadas as diferentes técnicas de fotoativação nos diferentes intervalos. Após termociclagem, as Técnicas 1 e 2 de fotoativação promoveram valores significativamente maiores de formação de *fenda* quando comparados com o intervalo de 72 h tanto para a resina TNC quanto para a SDR ($p = 0,03$ e $p < 0,01$, respectivamente). Não houve diferença significativa entre os valores das Técnica 3 e 4.

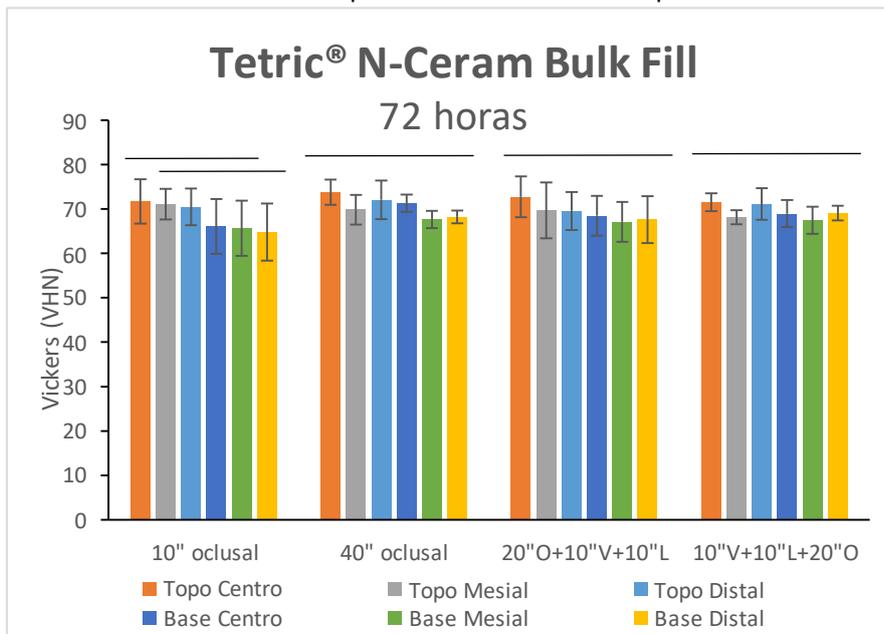
Quando comparados os produtos, a resina de alta viscosidade TNC promoveu maiores valores de formação de *fenda* quando comparada com a resina SDR em todas as diferentes técnicas de fotoativação em ambos os intervalos.

5.2 ANÁLISE DA DUREZA VICKERS

Os valores de dureza VHN e desvio padrão das resinas TNC e SDR nos

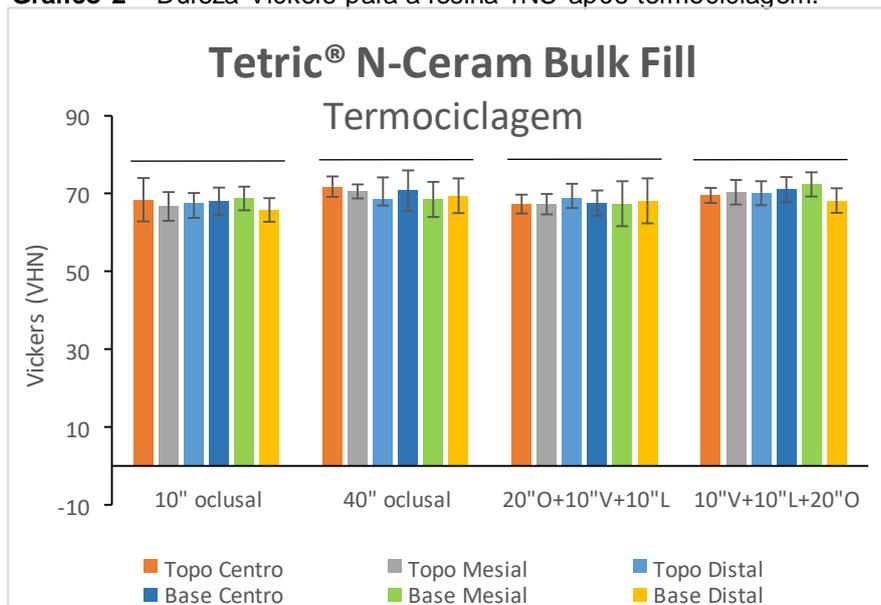
intervalos de 72 h e após termociclagem podem ser visualizados nos Gráficos 1, 2, 3 e 4 respectivamente. A razão entre a Base e o Topo para cada resina nos Gráficos 5, 6, 7 e 8.

Gráfico 1 – Dureza Vickers para a resina TNC no tempo imediato.



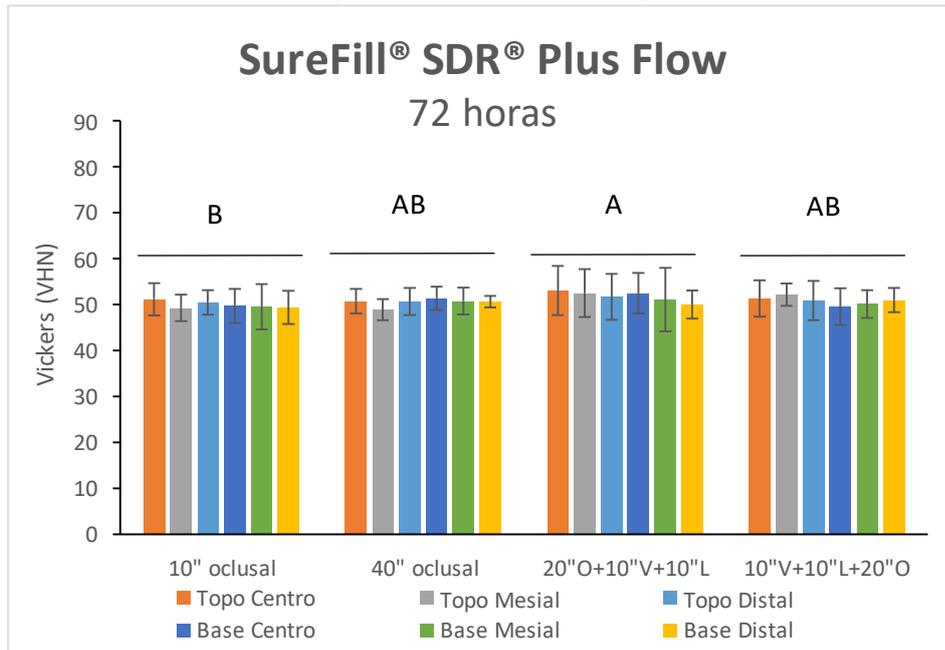
(Colunas com: linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística)

Gráfico 2 – Dureza Vickers para a resina TNC após termociclagem.



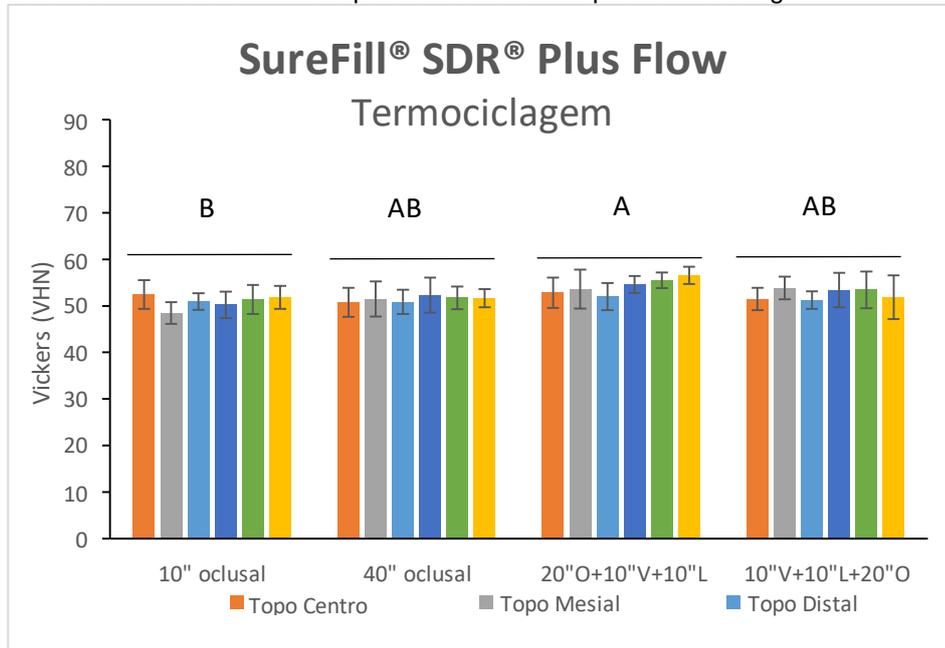
(Colunas com: linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística)

Gráfico 3 – Dureza Vickers para a resina SDR no tempo imediato.



(Colunas com: linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística; grupos de colunas contendo diferentes letras maiúsculas apresentam médias significativamente distintas)

Gráfico 4 – Dureza Vickers para a resina SDR após termociclagem.

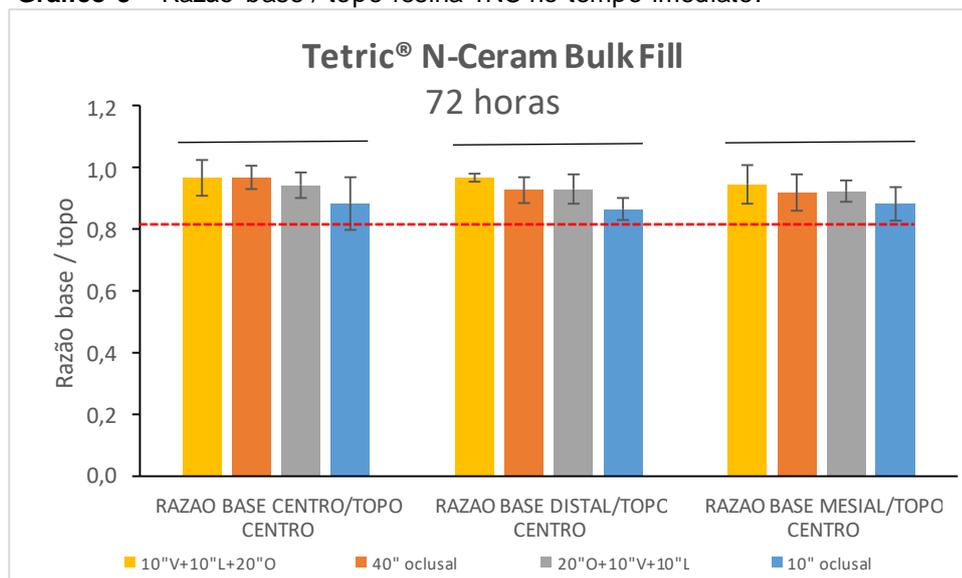


(Colunas com: linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística; grupos de colunas contendo diferentes letras maiúsculas apresentam médias significativamente distintas)

Para a resina TNC, somente na Técnica 1 no intervalo de 72 h, o valor de dureza da Base Distal foi significativamente inferior do valor do Topo Centro ($p=0,021$) (Gráfico 1). Não foi observada diferença significativa nos valores de dureza entre as regiões avaliadas no topo, ou entre as regiões avaliadas na base. Não houve diferença significativa entre as regiões avaliadas no mesmo grupo no caso da Técnica 2, 3 e 4 e na comparação das regiões avaliadas entre as diferentes técnicas no intervalo de 72 h assim como após da termociclagem.

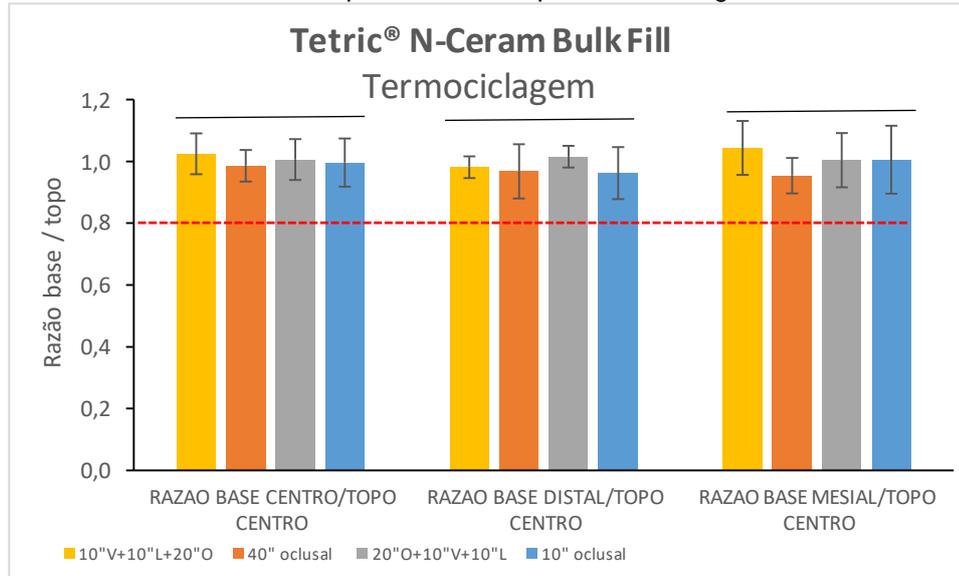
Para a resina SDR, não foi encontrada nenhuma diferença significativa entre as regiões avaliadas no mesmo grupo nas diferentes técnicas nos dois intervalos. Já na comparação entre os diferentes grupos, os valores de dureza observados quando utilizada a Técnica 3 foram superiores àqueles obtidos quando utilizada a Técnica 1 ($p=0,034$). Nenhuma diferença significativa foi observada nos valores de dureza entre as Técnicas 2, 3, e 4, como também entre as Técnicas 1, 2 e 4.

Gráfico 5 – Razão base / topo resina TNC no tempo imediato.



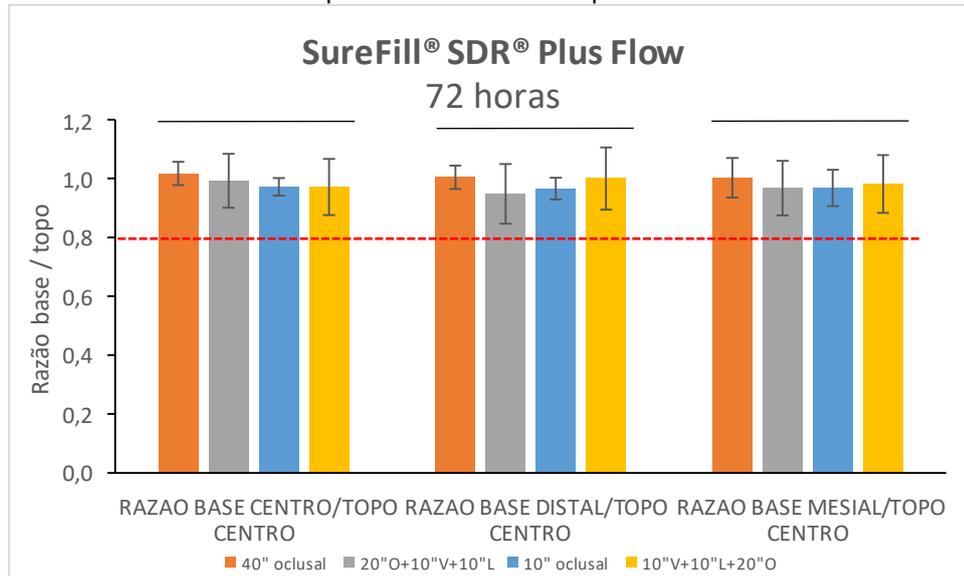
(Colunas com linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística)

Gráfico 6 – Razão base / topo resina TNC após termociclagem.

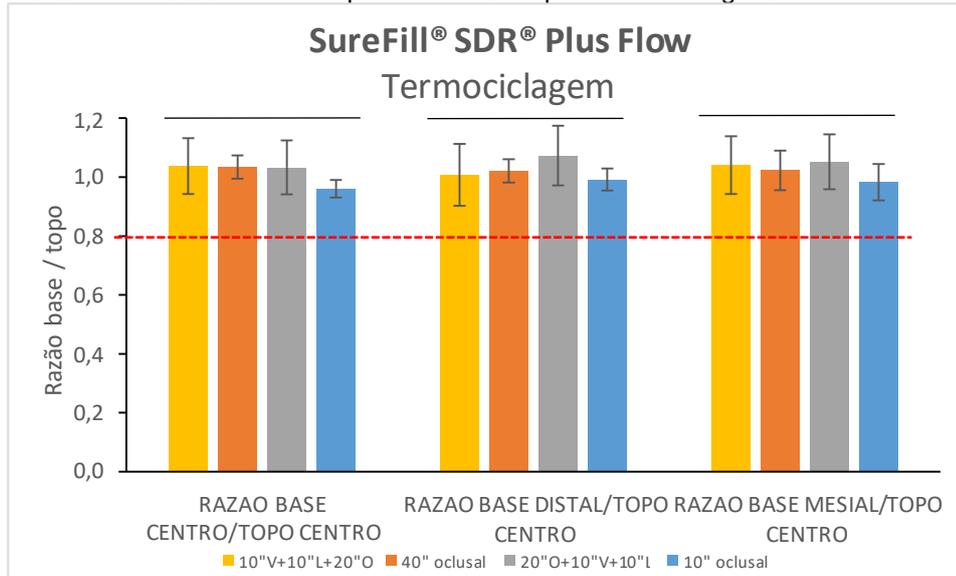


(Colunas com linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística)

Gráfico 7 – Razão base / topo resina SDR no tempo imediato.



(Colunas com linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística)

Gráfico 8 – Razão base / topo resina SDR após termociclagem.

(Colunas com linhas conectadas acima apresentam médias sem diferença estatística)

Todas as regiões avaliadas atingiram um valor superior a 80% do valor de dureza observado no topo central, utilizado como referência tanto no intervalo de 72 h assim como após de termociclagem.

Não foram encontradas diferenças significativas na razão entre a dureza da Base Centro, Distal e Mesial e o valor da dureza do Topo Centro da restauração nas diferentes técnicas de fotoativação nos dois intervalos em ambas as resinas.

6 DISCUSSÃO

No presente estudo, os valores de formação de fenda na interface adesiva tanto para a resina TNC quanto para SDR não foram diferentes significativamente quando utilizadas diferentes técnicas de fotoativação, após 72 h e após termociclagem. Deste modo, a primeira hipótese (1) de que não há diferença na formação de fendas na interface adesiva quando polimerizadas com diferentes técnicas de fotoativação foi aceita.

A reação de polimerização inclui três fases: pré-gel, gel e pós-gel. Na fase de pré-gel, o material apresenta um comportamento mais viscoso onde tem a capacidade de fluir (Bausch et al. ⁸⁵ 1982; Davidson e de Gee ⁸⁶ 1984; Emami et al. ⁸⁷ 2003), o que permite um reordenamento molecular para compensar as forças de contração. Durante esta fase, há um predomínio de cadeias poliméricas lineares (Davidson e Feilzer ³⁸ 1997; Soh e Yap ⁸⁸ 2004). Enquanto avança a reação de polimerização, na fase posterior ao gel iniciam as primeiras ligações cruzadas entre as cadeias, a resina apresenta um alto modulo de elasticidade, perde sua capacidade de fluir e transmite tensão na restauração (Soh e Yap ⁸⁸ 2004; Sakaguchi e Berge ⁸⁹ 1998).

A tensão de contração de polimerização pode aumentar a medida em que aumenta a energia irradiante depositada na restauração: a energia irradiante representa um fator importante no processo de polimerização das resinas compostas, é o produto da potência por unidade de área pela duração da irradiação (tempo de exposição) (Peutzfeldt e Asmussen ⁹⁰ 2005) e apresenta uma forte correlação com o grau de conversão (Rueggeberg et al. ²⁶ 1994; Nomoto et al. ⁹¹ 1994) e este na sua vez com a tensão de contração (Venhoven et al. ²⁹ 1996; Silikas et al. ³⁰ 2000).

Nas técnicas 1 e 2, a fotoativação foi feita só pela face oclusal e a energia irradiante foi calculada para cada técnica (12,5 J/cm² e 48 J/cm² respectivamente). A superfície oclusal da restauração é a região que está mais próxima da ponta do aparelho fotopolimerizador e subsequentemente é a zona que tem uma menor perda de energia irradiante durante a fotoativação (Bennett e Watts ⁹¹ 2004). A Técnica 2 de fotoativação gerou valores de formação e extensão de *fenda* muito semelhante à Técnica 1. A fotoativação prolongada

tem sido correlacionada com aumento na tensão de contração (Zorzin et al.⁹² 2015; Al-Nahedh e Alawami⁹³ 2020) o que poderia explicar os valores de formação de *fenda* deste grupo. Al-Nahedh et al.⁹² (2020), avaliaram a integridade marginal das resinas TNC e SDR e a influência de diferente exposição radiante. No seu estudo, reportaram maior formação de *fenda* nas restaurações fotoativadas por tempo prolongado quando comparadas com aquelas que receberam um menor tempo de exposição, resultados que diferem do presente estudo, no qual não houve diferença significativa entre as estratégias de fotoativação. No entanto, o grupo que recebeu uma menor exposição na pesquisa mencionada anteriormente é ainda maior da utilizada na Técnica 1 deste estudo. As Técnicas 3 e 4 de fotoativação não tiveram diferença significativa quando comparados com as Técnicas 1 e 2. Há pouca evidência que avalie a efetividade da técnica transdental na formação de fendas internas em resinas *bulk fill*, porém é uma técnica que parecia funcionar de modo similar à *Soft Start*, que prolonga a fase pré-gel de modo que as moléculas do polímero recém formadas conseguem se organizar e como consequência disso, o escoamento da resina é melhorado, permitindo relaxamento e redução das tensões geradas dentro do material melhorando a integridade marginal (Rueggeberg⁹⁴ 1999; Krishna Muppalla et al.⁹⁵ 2020). Modos de polimerização de início suave em restaurações de tipo bulk fill tem permitido uma polimerização mais lenta e um melhor fluxo de resina com menores tensões de contração (Krishna Muppalla et al.⁹⁵ 2020). Alves et al.³³ (2008) reportaram menor formação de fendas marginais quando a técnica transdental estava associada à técnica direta na fotoativação de resinas compostas convencionais, porém eles avaliaram a integridade marginal externa das restaurações.

Na comparação dos produtos a resina TNC promoveu maiores valores de formação de *fendas* que a resina SDR independente da técnica de fotoativação utilizada. A resina de baixa viscosidade do presente estudo apresenta um baixo módulo de Young como evidenciado pelo Rizzante et al.¹² (2019). Diferenças no conteúdo de partículas inorgânicas (quando comparados materiais de diferentes viscosidades) são críticas, pois é esperado uma maior tensão devido à maior quantidade de material orgânico nos materiais do tipo flow e subsequentemente maior formação de fendas internas, porém um baixo módulo de Young permitiria

a dissipação das tensões durante a polimerização (Goncalves et al. ⁹⁶ 2018; Jung e Park ⁹⁷ 2017), o que poderia explicar os resultados obtidos no presente estudo. Ao contrário dos resultados obtidos, Hayashi et al.²² (2019), reportaram no seu estudo que a resina TNC gerou a menor formação de *fenda* nos materiais fotopolimerizáveis, entre eles incluída a resina SDR. No entanto, a avaliação de *fenda* foi feita através de moldes cilíndricos de resina (não foram utilizados dentes restaurados) e com o uso de tomografia de coerência óptica. Por outro lado, Al-Harbi et al.¹⁸ (2016), não mostraram diferenças significativas entre TNC e SDR. Porém, eles avaliaram integridade marginal externa e não a integridade marginal interna. Entretanto, a tensão de contração é material dependente (Sampaio et al. ¹¹ 2019) e a formação de *fenda* é um fenômeno influenciado por diversos fatores, onde até a técnica de inserção do material tem um papel importante, segundo Almeida Junior et al.²³ (2017) a presença do *fenda* final na restauração parece estar mais associada à inserção do material na cavidade (*fenda* inicial) do que à contração de polimerização.

A segunda hipótese de pesquisa (2) foi aceita para a resina TNC e rejeitada para SDR. Houve diferença na dureza das restaurações de resinas *bulk fill* de baixa viscosidade polimerizadas com diferentes estratégias de fotoativação. Os valores de dureza observados quando utilizada a Técnica 3 foram superiores àqueles obtidos quando utilizada a Técnica 1 ($p=0,034$). Os valores de dureza da região da base na Técnica 1 para TNC também foram inferiores. Shimokawa et al. evidenciaram no seu estudo que 10 s de fotoativação são insuficientes para gerar adequadas propriedades mecânicas em resinas do tipo *Bulk Fill*. Porém, isso foi avaliado na caixa proximal de cavidades Classe II. Desse modo, é possível explicar os resultados do presente estudo, além da estreita correlação evidenciada entre os níveis de exposição radiante ($12,5 \text{ J/cm}^2$) e o grau de conversão (Rueggeberg et al. ²⁶ 1994; Nomoto et al. ⁹¹ 1994). Um menor grau de conversão pode gerar grupos funcionais sem polimerizar que posteriormente podem atuar como plastificantes, diminuindo as propriedades mecânicas do material (Asmussen e Peutzfeldt ⁹⁸ 2001). Cabe salientar que neste estudo não foi feita a caracterização da luz emitida pelo fotopolimerizador e não leva em consideração as regiões da ponteira onde a luz é emitida nem quais regiões da restauração apresentam maior e menor

irradiância, pelo que os resultados podem variar usando outros aparelhos fotopolimerizadores.

Na resina TNC não houve diferença significativa entre as regiões avaliadas no mesmo grupo no caso da Técnica 2, 3 e 4 e também não no caso da SDR nas diferentes técnicas avaliadas. Além disso, quando avaliada a razão, todas as regiões avaliadas atingiram um valor superior a 80% do valor de dureza observado no topo central. Isso pode ser devido à matriz altamente translúcida característica dos compósitos do tipo *bulk fill* que permite a transmissão de luz através de todo o material. Além disso, a resina TNC apresenta na sua composição o Ivocerin (Ivoclar Vivadent), um fotoiniciador alternativo a base de germânio que, segundo o fabricante, tem uma maior reatividade devido a sua maior absorção no comprimento de onda entre os 400 e 450 nm (Moszner et al.⁴⁷ 2008; Ilie et al.⁹⁹ 2013).

Jang et al.⁹⁹ (2015) evidenciou no seu estudo que a resina de baixa viscosidade SDR gerou valores de dureza menores quando comparados com a resina de alta viscosidade TNC (Jang et al.¹⁰⁰ 2015). Resultados que condizem com o nosso estudo onde a resina TNC exibiu maiores valores de dureza em todas as técnicas de fotoativação quando comparada com a SDR. Isso pode ser explicado pela menor quantidade de conteúdo inorgânico presente na resina de baixa viscosidade o que pode influenciar nas suas propriedades mecânicas (Besegato et al.¹⁰¹ 2019; Hasslen et al.¹⁰² 2019).

A terceira hipótese (3) também foi aceita. Após termociclagem, não houve diferença significativa na qualidade da interface adesiva entre restaurações polimerizadas com diferentes estratégias de fotoativação. Porém, houve diferença significativa entre os intervalos avaliados nas Técnicas 1 e 2 de fotoativação, tanto para a resina TNC quanto para a SDR, que exibiram valores significativamente maiores de formação de *fenda* após a termociclagem quando comparados com o intervalo de 72 h ($p= 0,03$ e $p<0,01$, respectivamente). A termociclagem foi realizada com o objetivo de criar tensões térmicas na interface de união através de trocas de temperatura entre 5°C e 55°C. A repetição desses ciclos térmicos debilita a união entre a matriz e o conteúdo de carga (Hakimeh et al.¹⁰³ 2000; Kawano et al.¹⁰⁴ 2001). É possível pensar que no caso da Técnica 1 na resina TNC a tendência mais baixa de valores de dureza na base

da restauração corrobora a ideia de um grau de conversão menor e subsequentemente uma conversão de monômeros incompleta que resulta em monômeros não reagidos onde esses sítios reativos (ligações duplas) são suscetíveis à hidrolização ou oxidação e, assim, levam a uma maior degradação do material (Kawano et al. ¹⁰⁴ 2001). O uso de altas irradiâncias pode promover um desenvolvimento da polimerização mais rápida (Watts e Cash ¹⁰⁵ 1991) que pode levar ao desenvolvimento de tensões que ficam mais evidenciadas após de as restaurações serem submetidas a termociclagem como no caso da Técnica 2 de fotoativação. É possível que os resultados para a resina SDR sejam devido a seu módulo de elasticidade menor (Rizzante et al. ¹⁴ 2019) que deixa ele mais frágil e susceptível antes as tensões.

O presente estudo avaliou os efeitos de diferentes estratégias de fotoativação na formação de fendas internas na interface adesiva e propriedades mecânicas de dureza Vickers de resinas compostas *bulk fill* em restaurações de cavidades classe I em terceiros molares hígidos. Deve-se salientar que neste estudo só foram utilizados dois tipos de resina e quatro métodos de fotoativação e um método de avaliação subjetivo na formação de *fenda*, o que poderia representar uma limitação do estudo. Devido à ampla variedade de materiais de resina (monômeros, conteúdo inorgânico, fotoiniciadores) assim como de aparelhos de fotoativação, são necessários mais estudos para avaliar a relação entre esses materiais e as técnicas de fotoativação e sua influência na formação de *fenda* e dureza das restaurações.

7 CONCLUSÃO

Dentro das limitações do estudo, pode-se concluir que (1) as técnicas que envolvem maiores valores de exposição irradiante não influenciaram na formação de fendas de interface, independente do tipo de resina composta *bulk fill* utilizada; (2) porém, a técnica escolhida pode influenciar nos valores de dureza conforme o compósito escolhido.; (3) do mesmo modo, o impacto da termociclagem na formação de fendas está relacionado à técnica de fotoativação.

REFERÊNCIAS

1. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater.* 2012; May;28(5):521-8.
2. Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clin Oral Investig.* 2013; Jan;17(1):227-35.
3. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LE, Martin AA, et al. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater.* 2015; Dec;31(12):1542-51.
4. Dewaele M, Asmussen E, Peutzfeldt A, Munksgaard EC, Benetti AR, Finne G, et al. Influence of curing protocol on selected properties of light-curing polymers: degree of conversion, volume contraction, elastic modulus, and glass transition temperature. *Dent Mater.* 2009; Dec;25(12):1576-84.
5. Shimokawa C, Turbino ML, Giannini M, Braga RR, Price RB. Effect of Curing Light and Exposure Time on the Polymerization of Bulk-Fill Resin-Based Composites in Molar Teeth. *Oper Dent.* 2020; May/Jun;45(3):E141-E55.
6. Ceballos L, Fuentes MV, Tafalla H, Martinez A, Flores J, Rodriguez J. Curing effectiveness of resin composites at different exposure times using LED and halogen units. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2009; Jan 1;14(1):E51-6.
7. David JR, Gomes OM, Gomes JC, Loguercio AD, Reis A. Effect of exposure time on curing efficiency of polymerizing units equipped with light-emitting diodes. *J Oral Sci.* 2007; Mar;49(1):19-24.
8. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Do dental composites always shrink toward the light? *J Dent Res.* 1998; Jun;77(6):1435-45.
9. Kaisarly D, Meierhofer D, El Gezawi M, Rosch P, Kunzelmann KH. Effects of flowable liners on the shrinkage vectors of bulk-fill composites. *Clin Oral Investig.* 2021; Aug;25(8):4927-40.
10. Ernst CP, Price RB, Callaway A, Masek A, Schwarm H, Rullmann I, et al. Visible Light Curing Devices - Irradiance and Use in 302 German Dental Offices. *J Adhes Dent.* 2018;20(1):41-55.
11. Sampaio CS, Fernandez Arias J, Atria PJ, Caceres E, Pardo Diaz C, Freitas AZ, et al. Volumetric polymerization shrinkage and its comparison to internal adaptation in bulk fill and conventional composites: A muCT and OCT in vitro analysis. *Dent Mater.* 2019; Nov;35(11):1568-75.
12. Almeida Junior L, Lula ECO, Penha KJS, Correia VS, Magalhaes FAC, Lima DM, et al. Polymerization Shrinkage of Bulk Fill Composites and its Correlation with Bond Strength. *Braz Dent J.* 2018; May-Jun;29(3):261-7.

13. Abbasi M, Moradi Z, Mirzaei M, Kharazifard MJ, Rezaei S. Polymerization Shrinkage of Five Bulk-Fill Composite Resins in Comparison with a Conventional Composite Resin. *J Dent (Tehran)*. 2018; Nov;15(6):365-74.
14. Rizzante FAP, Mondelli RFL, Furuse AY, Borges AFS, Mendonca G, Ishikiriyama SK. Shrinkage stress and elastic modulus assessment of bulk-fill composites. *J Appl Oral Sci*. 2019; Jan 7;27:e20180132.
15. Calheiros FC, Sadek FT, Braga RR, Cardoso PE. Polymerization contraction stress of low-shrinkage composites and its correlation with microleakage in class V restorations. *J Dent*. 2004; Jul;32(5):407-12.
16. Tantbirojn D, Pfeifer CS, Braga RR, Versluis A. Do low-shrink composites reduce polymerization shrinkage effects? *J Dent Res*. 2011; May;90(5):596-601.
17. 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.
18. Boaro LC, Goncalves F, Guimaraes TC, Ferracane JL, Versluis A, Braga RR. Polymerization stress, shrinkage and elastic modulus of current low-shrinkage restorative composites. *Dent Mater*. 2010; Dec;26(12):1144-50.
19. Hofmann N, Markert T, Hugo B, Klaiber B. Effect of high intensity vs. soft-start halogen irradiation on light-cured resin-based composites. Part I. Temperature rise and polymerization shrinkage. *Am J Dent*. 2003; Dec;16(6):421-30.
20. Al-Harbi F, Kaisarly D, Bader D, El Gezawi M. Marginal Integrity of Bulk Versus Incremental Fill Class II Composite Restorations. *Oper Dent*. 2016; Mar-Apr;41(2):146-56.
21. Savadi Oskoe S, Bahari M, Jafari Navimipour E, Ajami AA, Ghiasvand N, Savadi Oskoe A. Factors affecting marginal integrity of class II bulk-fill composite resin restorations. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2017; Spring;11(2):101-9.
22. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Honore D, Pedersen MK, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Oper Dent*. 2015; Mar-Apr;40(2):190-200.
23. Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. *J Dent*. 2014; Apr;42(4):439-49.
24. Hayashi J, Espigares J, Takagaki T, Shimada Y, Tagami J, Numata T, et al. Real-time in-depth imaging of gap formation in bulk-fill resin composites. *Dent Mater*. 2019; Apr;35(4):585-96.
25. Almeida LJ, Penha KJS, Souza AF, Lula ECO, Magalhaes FC, Lima DM, et al. Is there correlation between polymerization shrinkage, gap formation, and void in bulk fill composites? A muCT study. *Braz Oral Res*. 2017; Dec 18;31:e100.
26. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW, Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent*. 1994; Jan-Feb;19(1):26-32.

27. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. Energy dependent polymerization of resin-based composite. *Dent Mater.* 2002; Sep;18(6):463-9.
28. Emami N, Soderholm KJ. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured resin composites. *Eur J Oral Sci.* 2003; Dec;111(6):536-42.
29. Venhoven BAM, de Gee AJ, Davidson CL. Light initiation of dental resins: dynamics of the polymerization. *Biomaterials.* 1996; 1996/01/01;17(24):2313-8.
30. Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater.* 2000; Jul;16(4):292-6.
31. Garoushi S, Sailyoja E, Vallittu PK, Lassila L. Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite. *Dent Mater.* 2013; Aug;29(8):835-41.
32. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res.* 1988; Jun;67(6):932-7.
33. 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.
34. ISO4049. Dentistry-resin-based filling materials International Organization for Standardization; 1988. 1988.
35. Alves EB, Alonso RC, Correr GM, Correr AB, de Moraes RR, Sinhoreti MA, et al. Transdental photo-activation technique: hardness and marginal adaptation of composite restorations using different light sources. *Oper Dent.* 2008; Jul-Aug;33(4):421-5.
36. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011; Jan;27(1):29-38.
37. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent.* 1996; Jan-Feb;21(1):17-24.
38. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent.* 1997; Nov;25(6):435-40.
39. 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.
40. He Z, Shimada Y, Tagami J. The effects of cavity size and incremental technique on micro-tensile bond strength of resin composite in Class I cavities. *Dent Mater.* 2007; May;23(5):533-8.
41. Kim ME, Park SH. Comparison of premolar cuspal deflection in bulk or in incremental composite restoration methods. *Oper Dent.* 2011; May-Jun;36(3):326-34.

42. Bicalho AA, Pereira RD, Zanatta RF, Franco SD, Tantbirojn D, Versluis A, et al. Incremental filling technique and composite material--part I: cuspal deformation, bond strength, and physical properties. *Oper Dent*. 2014; Mar-Apr;39(2):E71-82.
43. Olafsson VG, Ritter AV, Swift EJ, Jr., Boushell LW, Ko CC, Jackson GR, et al. Effect of composite type and placement technique on cuspal strain. *J Esthet Restor Dent*. 2018; Jan;30(1):30-8.
44. Bellinaso MD, Soares FZM, Rocha RO. Do bulk-fill resins decrease the restorative time in posterior teeth? A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Investig Clin Dent*. 2019; Nov;10(4):e12463.
45. Tardem C, Albuquerque EG, Lopes LS, Marins SS, Calazans FS, Poubel LA, et al. Clinical time and postoperative sensitivity after use of bulk-fill (syringe and capsule) vs. incremental filling composites: a randomized clinical trial. *Braz Oral Res*. 2019; Sep 16;33(0):e089.
46. Reis AF, Vestphal M, Amaral RCD, Rodrigues JA, Roulet JF, Roscoe MG. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review. *Braz Oral Res*. 2017; Aug 28;31(suppl 1):e59.
47. Moszner N, Fischer UK, Ganster B, Liska R, Rheinberger V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dent Mater*. 2008; Jul;24(7):901-7.
48. Veloso SRM, Lemos CAA, de Moraes SLD, do Egito Vasconcelos BC, Pellizzer EP, de Melo Monteiro GQ. Clinical performance of bulk-fill and conventional resin composite restorations in posterior teeth: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2019; Jan;23(1):221-33.
49. van Dijken JW, Pallesen U. Posterior bulk-filled resin composite restorations: A 5-year randomized controlled clinical study. *J Dent*. 2016; Aug;51:29-35.
50. Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *J Adhes Dent*. 2017;19(2):95-109.
51. Oliveira Schliebe LRS, Lourenco Braga SS, da Silva Pereira RA, Bicalho AA, Verissimo C, Novais VR, et al. The new generation of conventional and bulk-fill composites do not reduce the shrinkage stress in endodontically-treated molars. *Am J Dent*. 2016; Dec;29(6):333-8.
52. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig*. 2014; Nov;18(8):1991-2000.
53. Miletic V, Peric D, Milosevic M, Manojlovic D, Mitrovic N. Local deformation fields and marginal integrity of sculptable bulk-fill, low-shrinkage and conventional composites. *Dent Mater*. 2016; Nov;32(11):1441-51.
54. Didem A, G?zde Yn, Nurhan z. Comparative Mechanical Properties of Bulk-Fill Resins. *Open Journal of Composite Materials*. 2014;Vol.04No.02:5.

55. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Braz Oral Res.* 2017; Aug 28;31(suppl 1):e61.
56. Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring--a review. *Dent Mater.* 2011; Jan;27(1):39-52.
57. Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Cohen ME. Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent.* 2002;14(5):286-95.
58. Dunn WJ, Bush AC. A comparison of polymerization by light-emitting diode and halogen-based light-curing units. *J Am Dent Assoc.* 2002; Mar;133(3):335-41.
59. Shortall AC, Harrington E. Effect of light intensity on polymerisation of three composite resins. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 1996; Jun;4(2):71-6.
60. Brandt WC, Schneider LF, Frollini E, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Effect of different photo-initiators and light curing units on degree of conversion of composites. *Braz Oral Res.* 2010; Jul-Sep;24(3):263-70.
61. Chen YC, Ferracane JL, Prahl SA. Quantum yield of conversion of the photoinitiator camphorquinone. *Dent Mater.* 2007; Jun;23(6):655-64.
62. Cook WD. Photopolymerization kinetics of dimethacrylates using the camphorquinone/amine initiator system. *Polymer.* 1992; 1992/01/01;33(3):600-9.
63. Uhl A, Sigusch BW, Jandt KD. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. *Dent Mater.* 2004; Jan;20(1):80-7.
64. Campregher UB, Samuel SM, Fortes CB, Medina AD, Collares FM, Ogliari FA. Effectiveness of second-generation light-emitting diode (LED) light curing units. *J Contemp Dent Pract.* 2007; Feb 1;8(2):35-42.
65. 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.
66. Cardoso KA, Zarpellon DC, Madruga CF, Rodrigues JA, Arrais CA. Effects of radiant exposure values using second and third generation light curing units on the degree of conversion of a lucirin-based resin composite. *J Appl Oral Sci.* 2017; Mar-Apr;25(2):140-6.
67. Wahbi MA, Aalam FA, Fatiny FI, Radwan SA, Eshan IY, Al-Samadani KH. Characterization of heat emission of light-curing units. *Saudi Dent J.* 2012; Apr;24(2):91-8.
68. Omid BR, Gosili A, Jaber-Ansari M, Mahdkhah A. Intensity output and effectiveness of light curing units in dental offices. *J Clin Exp Dent.* 2018; Jun;10(6):e555-e60.
69. Mahant RH, Chokshi S, Vaidya R, Patel P, Vora A, Mahant P. Comparison of the Amount of Temperature Rise in the Pulp Chamber of Teeth Treated With QTH,

Second and Third Generation LED Light Curing Units: An In Vitro Study. *J Lasers Med Sci.* 2016; Summer;7(3):184-91.

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

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

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

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

74. Condon JR, Ferracane JL. Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress. *J Am Dent Assoc.* 2000; Apr;131(4):497-503.

75. Chen HY, Manhart J, Hickel R, Kunzelmann KH. Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. *Dent Mater.* 2001; May;17(3):253-9.

76. Braga RR, Hilton TJ, Ferracane JL. Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stress-relieving layers. *J Am Dent Assoc.* 2003; Jun;134(6):721-8.

77. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E. Soft-start polymerization and marginal gap formation in vitro. *Am J Dent.* 2001; Jun;14(3):145-7.

78. Amaral CM, Peris AR, Ambrosano GM, Pimenta LA. Microleakage and gap formation of resin composite restorations polymerized with different techniques. *Am J Dent.* 2004; Jun;17(3):156-60.

79. Belan LC, Acatauassú-Nunes PM, Lobo TR, Oda M, Turbino ML. Can the pulse-delay photoactivation technique substitute the conventional technique? - evaluation by microhardness tests. *Rev odontol UNESP.* 2012;41:107-12.

80. Yap AU, Ng SC, Siow KS. Soft-start polymerization: influence on effectiveness of cure and post-gel shrinkage. *Oper Dent.* 2001; May-Jun;26(3):260-6.

81. Shimokawa CA, Carneiro PM, Lobo TR, Arana-Chavez VE, Youssef MN, Turbino ML. Five second photoactivation? A microhardness and marginal adaptation in vitro study in composite resin restorations. *Int Dent J.* 2016; Oct;66(5):257-63.

82. Suh BI, Feng L, Wang Y, Cripe C, Cincione F, de Rjik W. The effect of the pulse-delay cure technique on residual strain in composites. *Compend Contin Educ Dent.* 1999; Feb;20(2 Suppl):4-12; quiz 3-4.

83. Kanca J, 3rd, Suh BI. Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *Am J Dent.* 1999; Jun;12(3):107-12.

84. Prati C, Chersoni S, Montebugnoli L, Montanari G. Effect of air, dentin and resin-based composite thickness on light intensity reduction. *Am J Dent.* 1999; Oct;12(5):231-4.
85. Bausch JR, de Lange K, Davidson CL, Peters A, de Gee AJ. Clinical significance of polymerization shrinkage of composite resins. *J Prosthet Dent.* 1982; Jul;48(1):59-67.
86. Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res.* 1984; Feb;63(2):146-8.
87. Emami N, Soderholm KJ, Berglund LA. Effect of light power density variations on bulk curing properties of dental composites. *J Dent.* 2003; Mar;31(3):189-96.
88. Soh MS, Yap AU. Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures. *J Dent.* 2004; May;32(4):321-6.
89. 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.
90. Peutzfeldt A, Asmussen E. Resin composite properties and energy density of light cure. *J Dent Res.* 2005; Jul;84(7):659-62.
91. Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T. Effect of light intensity on polymerization of light-cured composite resins. *Dent Mater J.* 1994; Dec;13(2):198-205.
92. Zorzin J, Maier E, Harre S, Fey T, Belli R, Lohbauer U, et al. Bulk-fill resin composites: polymerization properties and extended light curing. *Dent Mater.* 2015; Mar;31(3):293-301.
93. Al-Nahedh HN, Alawami Z. Fracture Resistance and Marginal Adaptation of Capped and Uncapped Bulk-fill Resin-based Materials. *Oper Dent.* 2020; Mar/Apr;45(2):E43-E56.
94. Rueggeberg F. Contemporary issues in photocuring. *Compend Contin Educ Dent Suppl.* 1999; (25):S4-15; quiz S73.
95. Krishna Muppalla JN, Harikumar V, Sarathchandra P, Reddy SJ, Rajani P. Effect of modulated photoactivation of bulkfill composite on microleakage in fluorosed and nonfluorosed teeth: A confocal laser scanning microscopy study. *J Conserv Dent.* 2020; Mar-Apr;23(2):180-4.
96. Goncalves F, Campos LMP, Rodrigues-Junior EC, Costa FV, Marques PA, Francci CE, et al. A comparative study of bulk-fill composites: degree of conversion, post-gel shrinkage and cytotoxicity. *Braz Oral Res.* 2018; Mar 8;32:e17.
97. Jung JH, Park SH. Comparison of Polymerization Shrinkage, Physical Properties, and Marginal Adaptation of Flowable and Restorative Bulk Fill Resin-Based Composites. *Oper Dent.* 2017; Jul/Aug;42(4):375-86.
98. Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. *J Dent Res.* 2001; Jun;80(6):1570-3.

99. Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. *Oper Dent*. 2013; Nov-Dec;38(6):618-25.
100. Jang JH, Park SH, Hwang IN. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent*. 2015; Mar-Apr;40(2):172-80.
101. Besegato JF, Jussiani EI, Andrello AC, Fernandes RV, Salomao FM, Vicentin BLS, et al. Effect of light-curing protocols on the mechanical behavior of bulk-fill resin composites. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2019; Feb;90:381-7.
102. Hasslen JA, Barkmeier WW, Shaddy RS, Little JR. Depth of cure of high-viscosity bulk-fill and conventional resin composites using varying irradiance exposures with a light-emitting diode curing unit. *J Oral Sci*. 2019; Aug 28;61(3):425-30.
103. Hakimeh S, Vaidyanathan J, Houpt ML, Vaidyanathan TK, Von Hagen S. Microleakage of compomer class V restorations: effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. *J Prosthet Dent*. 2000; Feb;83(2):194-203.
104. Kawano F, Ohguri T, Ichikawa T, Matsumoto N. Influence of thermal cycles in water on flexural strength of laboratory-processed composite resin. *J Oral Rehabil*. 2001; Aug;28(8):703-7.
105. Watts DC, Cash AJ. Determination of polymerization shrinkage kinetics in visible-light-cured materials: methods development. *Dent Mater*. 1991; Oct;7(4):281-7.

**ANEXO A - APROVAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA PELA COMISSÃO
DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA
GROSSA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG 

Continuação do Parecer: 4.881.321

Recomendações:

Enviar o relatório final ao término do projeto de pesquisa por Notificação via Plataforma Brasil para evitar pendências.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto foi aprovado sem restrições, após avaliação documental. O projeto se encontra dentro dos princípios éticos e metodológicos, de acordo com o Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012 e 510/2016

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1781543.pdf	30/06/2021 14:28:09		Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico / Biorepositório / Biobanco	declaracao_banco_de_dentes.pdf	30/06/2021 14:14:14	JULIANA ANANY GONZALES GUARNERI	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	justificativa_ausencia_tcle_temp.pdf	25/06/2021 09:32:28	JULIANA ANANY GONZALES GUARNERI	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_temperatura_gap.pdf	25/06/2021 09:32:19	JULIANA ANANY GONZALES GUARNERI	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Protocolo_pesquisa_temperatura_gap.pdf	24/06/2021 15:42:15	Cesar Augusto Galvão Arrais	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22
Bairro: Uvaranas **CEP:** 84.030-900
UF: PR **Município:** PONTA GROSSA
Telefone: (42)3220-3282 **E-mail:** propespsecretaria@uepg.br