



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**  
**ALEF VERMUDT**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE RESINAS COMPOSTAS**  
**UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE POLIMERIZAÇÃO**

Tubarão

2022

**ALEF VERMUDT**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE RESINAS COMPOSTAS  
UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE POLIMERIZAÇÃO**

**LINHA DE PESQUISA:** Estudos e desenvolvimento de medicamentos e produtos  
para a saúde

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Ciências da Saúde para obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

Orientador: Prof. Jefferson Ricardo Pereira, Dr.

Tubarão  
2022

V62 Vermudt, Alef, 1995 -

Avaliação da resistência mecânica de resinas compostas utilizando diferentes métodos de polimerização / Alef Vermudt. – 2022.

49 f. : il. color.; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-graduação em Ciências da Saúde.

Orientação: Prof. Dr. Jefferson Ricardo Pereira

1. Restauração (Odontologia). 2. Resinas dentárias. 3. Resina composta. 4. Polimerização. 5. Resistência à fratura. I. Pereira, Jefferson Ricardo. II. Universidade do Sul de Santa Catarina. III. Título.

CDD (21. ed.) 617.69

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE - MESTRADO**

Título da Dissertação

Avaliação da resistência mecânica de resinas compostas utilizando diferentes métodos de polimerização

**ALEF VERMUDT**

AUTOR

Aprovado pela Banca Avaliadora de Defesa da Dissertação em 24 de fevereiro de 2022.

Doutor Jefferson Ricardo Pereira (Orientador)



Doutor Saulo Pamato (Avaliador externo – EPOG) – *presente por videoconferência*

Doutora Gislane Tezza Rezin (Avaliador interno) – *presente por videoconferência*



*Professor Doutor Jefferson Traebert*

**COORDENADOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE  
UNISUL**

- Unisul - Universidade do Sul de Santa Catarina, Sede, Reitoria - Av. José Acácio Moreira, 787, Bairro Dehon - 88704-900, Tubarão, SC - Fone 48 3621.3000
- Unisul Região Sul
  - Campus Tubarão - Avenida José Acácio Moreira, 787, Bairro Dehon, Caixa Postal 370 - 88704-900, Tubarão, SC - Fone 48 3621.3000
  - Campus Araranguá - Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Bairro Urussanguinha - 88905-355, Araranguá, SC - Fone 0800 970 7000 - 48 3521-3000
  - Campus Braço do Norte - Rodovia SC 370, 1023, Rio Bonito - 88750-000, Braço do Norte, SC - Fone 0800 970 7000 - 48 3621-3925
  - Campus Içara - Rua Linha Três Ribeirões, Loteamento Centenário, 250, Bairro Liri - 88820-000, Içara, SC - Fone 0800 970 7000 - 48 3621-3460
- Unisul Região Grande Florianópolis
  - Campus Pedra Branca - Avenida Pedra Branca, 25, Cidade Universitária Pedra Branca, 88137-270, Palhoça, SC - Fone 48 3279.1000
  - Campus Florianópolis - Rua Dib Mussi, 366, Centro - 88015-110, Florianópolis, SC - Fone 48 3279.1000
    - Rua Trajano, 219, Centro - 88010-010, Florianópolis, SC - Fone 48 3279.1000
- Campus Unisul Digital - Av. Pedra Branca, 25 - Cidade Universitária Pedra Branca - 88137-900, Palhoça, SC - Fone 48 3279.1200

## **AGRADECIMENTOS**

A FAPESC, pela oportunidade de estudo no programa, concedida através de uma bolsa de estudo.

A VOCO do brasil, pela doação de resinas compostas para utilização na pesquisa, em prol da ciência.

## RESUMO

**Introdução:** As resinas compostas são uma classe de materiais restauradores dentários à base de componentes resinosos orgânicos e inorgânicos. A quantidade de cada componente é variável e dependente do seu fabricante. Ao longo dos anos, as características desses materiais foram modificadas no intuito de melhorar suas qualidades físico-químicas, gerando questionamentos e necessidade da busca de mais conhecimento para utilizá-los. Desse modo, surge a dúvida se a utilização das resinas disponíveis no mercado mantém suas melhores características químico-mecânicas à restauração, utilizando diferentes técnicas de polimerização

**Objetivo:** Avaliar a resistência mecânica de resinas compostas utilizando diferentes materiais e técnicas de polimerização.

**Métodos:** Foram testados no total 23 resinas compostas de classes e cores. Para a polimerização das amostras foram utilizados fotopolimerizadores LED de 2ª e 3ª geração, assim como um micro-ondas. O LED de 2ª geração foi o Emitter A Fit – Schuster, os LEDs de 3ª geração foram o VALO – Ultradent e também o Emitter Now Duo – Schuster, e o microondas que utilizado foi o BMS45 – Brastemp. No total, 670 discos de resina, com diâmetro de 8mm e espessura de 1mm foram confeccionados. Utilizando a máquina universal de testes, cada disco foi submetido a uma carga aplicada no centro, através de um pistão plano com diâmetro de 0,5 mm, com velocidade de 0,5mm/min até a falha da amostra. As mesmas resinas também foram submetidas a espectroscopia por infravermelho para avaliar o grau de conversão. Para análise estatística, o teste de tukey foi utilizado para comparação múltipla ( $p=0,05$ ).

**Resultados:** Os testes de resistência à fratura não demonstraram diferenças significativas entre as resinas quando comparado os fotopolimerizadores utilizados, porém foram encontradas diferenças quando comparado as diferentes classes de resinas compostas ( $p<0,05$ ).

**Conclusão:** Resinas compostas de classes diferentes influenciam significativamente na resistência final do material, no entanto, os diferentes métodos de polimerização na mesma resina não apresentaram diferenças significativas.

**Descritores:** Resina composta. Polimerização. Resistência à fratura.

## ABSTRACT

**Introduction:** Composite resins are a class of restorative materials based on composite organic and inorganic resin components. The amount of each component is variable and depends on its manufacturer. Over the years, as characteristics of these materials were modified in order to improve chemistry, generating questions and the need to search for more knowledge to use them. Thus, the question arises whether the use of resins available on the market maintains its best physical-chemical-mechanical characteristics for the restoration, using different polymerization techniques.

**Objective:** To evaluate the mechanical strength of composite resins using different materials and polymerization techniques.

**Methods:** A total of 23 composite resins of grades and colors were tested. For the polymerization of the samples, 2nd and 3rd generation LED curing lights were used, as well as a microwave. The 2nd generation LED was the Emitter A Fit – Schuster, the 3rd generation LEDs were the VALO – Ultradent and also the Emitter Now Duo – Schuster, and the microwave used was the BMS45 – Brastemp. In total, 670 resin discs, with a diameter of 8 mm and a thickness of 1 mm, were made. Using the universal testing machine, each disc was subjected to a load applied to the center, through a flat piston with a diameter of 0.5 mm, with a speed of 0.5 mm/min until the sample failed. The same resins were also altered spectroscopy to evaluate the degree of conversion. For analysis, the tukey test was used for multiple comparison ( $p=0.05$ ).

**Results:** Differences between composite resins do not differentiate the differences between composite resins when compared to the composite resins used, but they are differences when compared to different composite resin classes ( $p<0.05$ ).

**Conclusion:** Different grades of composite resins influence the final strength of the material.

**Keywords:** Composite resin. Polymerization. Fracture resistance.

## LISTAS

### Lista de abreviaturas

PPD - 1-fenil-1;2-propanodiona

Lucirin TPO - óxido de difenil (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina

BAPO - Óxido Bis-Alquil Fosfínico - Irgacure

### Lista de figuras

Figura 1. Exemplificação do molde de teflon utilizado para obter as amostras.

Figura 2. Exemplificação do teste de resistência flexural biaxial.

Figura 3. Espectro de absorção das resinas compostas, antes (SPol) e depois (Pol) da fotopolimerização.

### Lista de tabelas

Tabela 1. Resinas compostas utilizadas.

Tabela 2. Quantidade de amostras por grupo e cor.

Tabela 3. Quantidade de amostras submetidas ao teste de espectroscopia.

### Lista de Quadros

Quadro 1. Variáveis do estudo.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1 REFERENCIAL TEÓRICO .....	10
1.1.1 DENTES E LESÕES DENTÁRIAS .....	10
1.1.2 TRATAMENTO RESTAURADOR.....	11
1.1.3 MATERIAIS RESINOSOS E RESINA COMPOSTA .....	12
1.1.4 CLASSIFICAÇÃO DAS RESINAS COMPOSTAS .....	13
1.1.5 FOTOPOLIMERIZAÇÃO .....	14
1.1.6 FOTOPOLIMERIZADORES .....	15
1.1.7 IMPLICAÇÕES E APLICAÇÕES CLÍNICAS .....	16
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>3. MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 TIPO DE ESTUDO .....	20
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	20
3.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO .....	21
3.4 TESTES.....	22
3.5 VARIÁVEIS DE ESTUDO .....	25
3.6 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	25
3.7 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA.....	26
<b>4. ARTIGO .....</b>	<b>27</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Produtos provenientes de bactérias presentes na cavidade bucal podem ocasionar algumas lesões intrabucais, dentre elas, uma das mais conhecidas, as lesões de cárie. Quando o controle da higiene estiver deficiente a atividade bacteriana resulta em formação de ácidos que desmineralizam o esmalte dentário iniciando o processo cariioso. Além disso, fatores como acidez alta (devido a uma dieta ácida ou disfunções gastrointestinais), traumas e parafunções (ranger dos dentes) também podem desencadear desgastes dentários, necessitando assim de um tratamento restaurador.<sup>1</sup>

Essas lesões dentárias, têm sido amplamente tratadas com diferentes materiais que restauram a estrutura perdida, devolvendo a forma e a função. Desde os primórdios (1826), a terapia restauradora foi assegurada pela utilização do amálgama dental, um material restaurador a base de metais (prata, cobre, alumínio e mercúrio), e no ano de 1950, com os avanços tecnológicos, passou a ser utilizados materiais à base de resina acrílica e posteriormente as resinas compostas.<sup>2,3</sup>

As resinas compostas são uma classe de materiais restauradores dentários à base de componentes resinosos orgânicos e inorgânicos. A parte orgânica é composta basicamente pelos monômeros resinosos, um agente de união e o iniciador. Na parte inorgânica (sílica, quartzo, vidro, dentre outros) estão presentes as partículas de carga de diferentes composições, tamanhos e formas. A quantidade de cada componente é variável e dependente do seu fabricante. A diversidade desses materiais encontrados no mercado odontológico traz ao cirurgião dentista o desafio da melhor escolha para o seu tratamento no que tange o tipo de material, marca, cor, quantidade, das características químicas e físicas.<sup>2-4</sup>

Ao longo dos anos, as características desses materiais foram modificadas no intuito de melhorar suas qualidades físico-químicas, gerando questionamentos e necessidade da busca de mais conhecimento para utilizá-los. Muitas empresas vêm investindo nesse mercado de resinas compostas e multiplicaram as opções para o cirurgião dentista, contudo, a compreensão completa desses materiais exige uma abordagem aprofundada.<sup>2,4</sup>

As propriedades físico-químico-mecânicas dos materiais resinosos estão diretamente relacionadas com a taxa ou grau de conversão obtido através de sua

polimerização. Quando se tratando de resinas compostas o método para polimerizar é através de um equipamento chamado fotopolimerizador, que gera alguns comprimentos de onda em forma de luz visível que é aplicada diretamente na resina composta, transformando o seu estado inicial de monômeros resinosos em uma grande rede de polímeros complexos, denominando esse processo de polimerização. Assim, quanto maior a quantidade de monômeros convertidos em polímeros (grau de conversão) ocorrer, maior a resistência final dessa resina.<sup>4,5</sup>

O grau de conversão quando insatisfatório resulta em uma resistência final diminuída podendo gerar inúmeros problemas no material, como trincas, fraturas, pigmentação e também infiltrações. No entanto existem alguns caminhos a seguir que podem modificar os estados finais das resinas compostas, dentre eles a técnica ou ainda o equipamento utilizado para realizar a sua polimerização.<sup>5-7</sup>

Desse modo, surge à dúvida se a utilização das resinas disponíveis no mercado mantém suas melhores características físicas-químicas-mecânicas à restauração, utilizando diferentes técnicas de polimerização. A presente pesquisa tem por objetivo entender como os materiais a base de resina composta se comportam quando submetidos a diferentes equipamentos de fotopolimerização utilizando diferentes técnicas de polimerização presentes na literatura. Indústrias odontológicas desenvolvem e modificam inúmeros materiais, muitas resinas compostas novas são colocadas no dia a dia clínico e muitas delas ainda sem respaldo científico relatado na literatura, o que traz a necessidade da pesquisa. A hipótese do trabalho é de que há diferenças estatisticamente significativas na resistência à fratura de resinas compostas, utilizando diferentes equipamentos de fotopolimerização.

## **1.1 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1.1 DENTES E LESÕES DENTÁRIAS**

Os dentes compõem a cavidade bucal e tem como função principal o auxílio na mastigação e trituração dos alimentos do dia-a-dia. A presença de bactérias e substâncias ácidas podem ocasionar algumas lesões quando o indivíduo não mantém uma boa higiene oral. Ainda, fraturas por traumas ou funções desordenadas como o apertamento e rangimento dos dentes são fatores comuns de acontecimentos.<sup>8</sup>

A falta de higiene com os dentes resulta em um acúmulo de alimentos e formação de colônias bacterianas, que excretam subprodutos com um nível alto de acidez capaz de dissolver a estrutura dentária e formar a cárie dental. Quando a higiene está presente, os dentes ainda estão sujeitos a parafunções, que é representada por movimentações e toques excessivos entre os dentes, ocasionando perda de estrutura por atrito e abrasão ou ainda em casos mais graves fraturas.<sup>1,8</sup>

As lesões quando presentes podem ser despercebidas, ou, como na maioria dos casos, causar sintomas dolorosos. Apresentando ou não sintomas, os dentes precisam ser tratados, pois a perda de estrutura sempre vai expor partes mais internas que são mais susceptíveis a recorrência ou evolução das lesões. Ademais, a manutenção e consulta periódica com o profissional cirurgião-dentista de fato se torna indispensável para avaliação, tratamento e principalmente prevenção para o não acometimento dos dentes por quaisquer tipos de lesões.<sup>1,8,9</sup>

### 1.1.2 TRATAMENTO RESTAURADOR

O tratamento mais comum dos dentes acometidos por lesões é o tratamento restaurador, que pode ser feito de forma direta ou indireta. Na forma direta, é realizado uma restauração diretamente no dente, onde em uma consulta clínica o tratamento pode ser resolvido. Na forma indireta o cirurgião-dentista prepara o dente, realiza um molde (cópia fiel) duplicando esse preparo em um modelo exatamente igual ao que está na cavidade bucal. Por fim, a restauração é realizada sobre esse modelo e posteriormente é transferida para o dente em boca e realizado um processo de colagem, o qual é denominado de cimentação.

A possibilidade de tratamento direto advém de algumas vantagens, como um menor número de consultas, menor tempo clínico e também um custo financeiro mais baixo. Desta forma sempre que possível e bem indicado será realizado uma restauração de forma direta. No entanto, quando não for possível, a indicação de tratamento indireto poderá ser feita para se obter uma melhor sobrevida da restauração.<sup>2,3</sup>

Independente da técnica empregada para realizar a confecção dessa restauração esta deve sempre seguir os melhores parâmetros. Dentre eles, o uso de um bom equipamento de fotopolimerização, de materiais restauradores que forneçam resistência adequada para o local a ser restaurado e ainda o

conhecimento das técnicas e protocolos de utilização, a serem empregados nesse processo, é de extrema importância para um bom resultado final.<sup>7,10</sup>

A resina composta é um dos principais materiais restauradores e ganhou destaque através do seu desenvolvimento contínuo desde o ano em que foi inventada em 1950. Com indicação para uso direto e indireto, esse material possui características que favorecem os seus resultados clínicos e pré-clínicos, o que aumentou ainda mais o seu espaço nas últimas décadas.<sup>3,6,7</sup>

### 1.1.3 MATERIAIS RESINOSOS E RESINA COMPOSTA

Os materiais resinosos sempre tiveram destaque na odontologia, principalmente quando se fala em tratamentos considerados conservadores, onde a ideia é se obter uma preservação máxima da estrutura dentária. Isso se deve grande parte por ser um sistema que se adere ao tecido dentário através de uma retenção micromecânica, gerada previamente por um preparo da superfície e a utilização de um sistema adesivo, o qual vai conceder a união do dente ao material restaurador.<sup>11</sup>

A resina composta é o material resinoso mais utilizado e mais indicado em diversas situações clínicas, sendo para uso direto ou indireto. Isso se deve ao fato de possuir as seguintes características: dureza e resistência semelhante a estrutura dental, gama de possibilidade de cores, polimerização realizada através de luz e adesão ao tecido dentário.<sup>3,7,12</sup>

Composta basicamente por duas matrizes, uma orgânica e outra inorgânica, a composição das resinas compostas pode variar de acordo com cada fabricante. Na matriz inorgânica, conferem na composição partículas que vão definir resistência ao composto, onde na maioria dos materiais é composto ou por partículas de sílica ou por cerâmica. O tamanho definido dessas partículas pode resultar em uma maior ou menor resistência final do composto, podendo alterar as suas indicações.<sup>3-5,12</sup>

A matriz orgânica, onde estão presentes os monômeros resinosos, agentes de união e iniciadores, que atuam no processo de polimerização da resina, podem ter suas características modificadas a fim de atender uma melhor propriedade ou cor final desejada.<sup>3,12,13</sup>

#### 1.1.4 CLASSIFICAÇÃO DAS RESINAS COMPOSTAS

Para classificar uma resina composta, deve-se avaliar a sua parte inorgânica, o tamanho dessas partículas, e assim sua classificação pode ser dividida em macropartículas, híbridas, micro-híbridas, microparticuladas, nanoparticuladas, suprananométricas e nano-híbridas.<sup>3,12</sup>

As primeiras resinas compostas foram conhecidas como macroparticuladas porque tinham grandes partículas de carga em sua composição, em torno de 8 a 50 microns. Devido ao tamanho das partículas, algumas desvantagens foram apresentadas, como desgaste acentuado, alta rugosidade e pigmentação superficial. No entanto, a evolução dos materiais as deixou em desuso. No intuito de diminuir a rugosidade da superfície, foram desenvolvidos micropartículas, que variam de 0,01  $\mu\text{m}$  a 0,04  $\mu\text{m}$ , apresentando menor rugosidade de superfície, alto polimento e estabilidade de cor, no entanto baixa resistência.<sup>12-14</sup>

As resinas híbridas surgiram, com a associação de micropartículas e macropartículas, o que possibilitou uma melhoria nas propriedades físicas do material, dando alta resistência ao desgaste e boa textura. A diminuição das macropartículas presentes nas resinas híbridas fez surgir as resinas micro-híbridas, proporcionando um material mais estético e resistente que as anteriores.<sup>3,12-14</sup>

A necessidade de resistência e polimento juntos fez se aumentar a utilização da nanotecnologia nas resinas compostas, produzindo resinas com nanopartículas, com excelentes propriedades mecânicas, baixa contração, com partículas de carga de tamanho 5 a 20 nanômetros, proporcionando alto brilho e lisura de superfície.<sup>3,12,13,15</sup>

Por fim, além das resinas nanoparticuladas (5 a 100 nanômetros), surgiram também resinas compostas nanohíbridas, com partículas macro ainda menores que as micro-híbridas, consideradas universais por possuírem propriedades adequadas tanto para resistência quanto para estética/polimento. E resinas suprananoparticuladas com particulares próximas de 200 nanômetros com características muito próximas a das resinas nanoparticuladas. Em geral, as resinas compostas classificadas como micro-híbridas, nano-híbridas e nanoparticuladas são as mais encontradas e utilizadas.<sup>3,12-15</sup>

### 1.1.5 FOTOPOLIMERIZAÇÃO

Em se tratando de materiais resinosos, a polimerização se resume em uma conversão de monômeros em uma grande rede de polímeros. Esse processo ocorre através de uma luz visível que é emitida por um equipamento denominado de fotopolimerizador. Essa luz, assim como qualquer luz visível, se caracteriza por ser uma onda eletromagnética, que através de comprimentos específicos consegue atingir o local desejado.<sup>16</sup>

As resinas compostas se polimerizam através de radicais livres em um processo de reação em cadeia, que envolve abertura e fechamento de ligações dos monômeros resinosos presentes em sua composição. Geralmente esse processo é definido em três etapas: iniciação, propagação e término.<sup>17</sup>

O processo de iniciação acontece nos fotoiniciadores presentes nos monômeros e é dependente de ser irradiado com uma luz externa podendo essa ser de lâmpadas de LED ou de luz incandescente, chamadas de halógenas. A luz de LED ganhou espaço pois melhorou muito um aspecto deficiente nas halógenas, a intensidade de luz gerada, que passou de 400 mw/cm<sup>2</sup> para valores maiores de 1000 mw/cm<sup>2</sup>, melhorando muito o dia-a-dia do clínico, diminuindo o tempo necessário de polimerização, otimizando o tempo de trabalho.<sup>16,17</sup>

O fato dessa fonte de luz (onda eletromagnética) externa ter um comprimento de onda específico, faz com que o fotoiniciador se transforme em um radical livre que abrirá as ligações dos monômeros e permitirá o acontecimento da segunda etapa do processo, a propagação.<sup>16-18</sup>

A propagação ocorre com a união dos monômeros, que se tornam altamente reativos e se ligam quimicamente, formando uma rede de monômeros em um processo muito rápido. O resultado dessa união é de 75 a 80% monômeros que se tornam uma grande rede de polímeros vitrificados, resultando na terceira e última etapa do processo, o término.<sup>16-19</sup>

A transformação de monômeros resinosos em polímeros pode ser denominada de “conversão” e a quantidade dessa conversão de “grau”. O grau de conversão de uma resina composta é de extrema importância, pois define as propriedades principais do material, incluindo contração de polimerização, quantidade de monômeros residuais e resistência à fratura.<sup>16,17,19</sup>

A polimerização é influenciada pela maneira como a luz é transmitida através da resina composta. A intensidade e tempo em que a luz atinge o material pode ser

a razão pela qual as resinas compostas podem vir a perder resistência e fraturar precocemente.<sup>18,20</sup>

Resinas compostas atuais são sistemas fotopolimerizáveis, ativados pela luz visível onde um fotoiniciador é necessário para reagir e gerar radicais livres e, portanto, iniciar a polimerização em cadeia do composto. A canforoquinona é o fotoiniciador mais utilizado e quando é irradiada pela luz do comprimento de onda apropriado, que seria próximo de 465nm, os grupos de monômeros reagem e formam-se os polímeros. A sua inclusão na maioria das resinas compostas, se dá pelo fato de que todo equipamento presente no mercado consegue atingir o comprimento de onda necessário para realizar a sua ativação e iniciar então o processo de polimerização.<sup>22,23</sup>

A presença de canforoquinona na resina composta, por apresentar uma cor de tom amarelado forte, pode afetar a estética desses materiais quando necessário materiais de cores brancas e transparentes, assim considerou-se a substituição ou inclusão de fotoiniciadores alternativos que não influenciassessem na estética final da restauração.<sup>22-27</sup>

Dentre todos os fotoiniciadores utilizados para substituir a canforoquinona, pautam-se o 1-fenil-1;2-propanodiona (PPD), óxido de difenil (2,4,6-trimetilbenzoi) fosfina (Lucirin TPO) e Óxido Bis-Alquil Fosfínico - Irgacure (BAPO), que se diferem principalmente por possuírem cores brancas/transparentes ou levemente amareladas, o que permite a possibilidade de alcançar uma melhor estética. Entretanto, esses componentes necessitam de luz com comprimento de onda em torno de 398nm para o PPD, 400nm para o BAPO e 380nm para o Lucirin TPO, o que de fato pode se tornar um problema já que a maioria dos equipamentos de fotopolimerização atingem um comprimento de onda de 420 a 480nm.<sup>22-28</sup>

#### 1.1.6 FOTOPOLIMERIZADORES

As resinas compostas na odontologia são fotopolimerizáveis, assim compreende-se que o equipamento utilizado para fotopolimerizar são crítico-dependentes para obter as melhores propriedades das resinas. Em tempos atrás os fotopolimerizadores utilizavam uma lâmpada halógena com comprimento de onda de 300 a 500nm, intensidade (potência) média de 400mw/cm<sup>2</sup> necessitando assim de um tempo relativamente alto para polimerizar as resinas.<sup>20,23,24</sup>

Devido à baixa intensidade das lâmpadas halógenas, houve uma troca para lâmpadas de LED de alta intensidade, com média de 1000 a 1400mw/cm<sup>2</sup> o que possibilitou diminuir o tempo de polimerização. Entretanto a troca submeteu a uma limitação de comprimento de onda dos fotopolimerizadores LED, estreitando-se em média a um comprimento de onda entre 420 e 480nm. Contudo, ainda há variações em cada aparelho, onde cada fabricante opta por determinar a intensidade de luz, o comprimento de onda e aspectos próprios como tempo de irradiação da luz.<sup>16,19,29</sup>

Os fotopolimerizadores à base de luz emitida por diodo, ou seja, os aparelhos de LED, possuem 3 gerações (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> geração). A tecnologia atual mais utilizada para gerar a luz necessária para polimerizar as resinas compostas é o uso desses aparelhos à base de LED.<sup>11</sup> Estes produzem luz visível, sendo compostos por uma combinação de dois semicondutores, sob a forma de cristais de nitreto de gálio, que se conectam sempre que for aplicada tensão sobre eles e assim produzem luz.<sup>16,18,21,23</sup>

Os LEDs de 1<sup>a</sup> geração apresentavam intensidade de luz insuficiente para a polimerização adequada das resinas compostas e já não são mais comercializados. Os LEDs de 2<sup>a</sup> geração possuem irradiância suficiente em torno de 800 a 1400mW/cm<sup>2</sup>, porém estudos demonstram que o comprimento de onda gerado por esses aparelhos (420-480nm) podem influenciar a polimerização. Com isso, foram inseridos no mercado os fotopolimerizadores de 3<sup>a</sup> geração, os quais apresentam uma irradiância que varia de 1000 a 3200mW/cm<sup>2</sup>, com comprimento de onda mais amplo (385-515nm) sendo capaz de emitir um feixe de luz profundo e uniforme, ativando os mais diversos fotoiniciadores e convertendo um maior número de monômeros em polímeros.<sup>16,22-30</sup>

Na prática, o desempenho de todos os fotopolimerizadores parecem proporcionar graus aceitáveis de polimerização de resinas compostas comerciais e, portanto, qualquer tipo de aparelho de fotopolimerizador odontológico poderia ser usado para polimerizar os compostos resinosos.<sup>13,23,24</sup> Ademais, o uso de fotoiniciadores alternativos nas composições geram dúvidas se, de fato, a resistência das resinas permanece satisfatórios.<sup>16,20,22,24,25</sup>

### 1.1.7 IMPLICAÇÕES E APLICAÇÕES CLÍNICAS

De uma forma assegurada, a utilização de resinas compostas como forma de tratamento definitivo, é muito utilizada e obtém altas taxas de sucesso.<sup>1,25</sup>

Embora a quantidade necessária de material restaurador determine, em muitos casos, qual tipo de resina utilizar, a literatura tem ressaltado que a consonância entre a classificação do material e a técnica de polimerização tem de estar devidamente atrelados na hora da escolha. Em muitos casos há exigência de estética e também necessidade de resistência, casos esses comuns em restaurações em dentes anteriores.<sup>31,32</sup>

O uso de cores alternativas, ou de efeito, tem causado algumas perguntas em relação a composições dessas resinas. A troca de fotoiniciadores, para então conseguir alcançar uma cor desejada (branca ou transparente) pode ser considerada na formulação dessas resinas. Todavia, essa mudança pode exigir uma característica não muito demonstrada pelos fabricantes, o uso de um equipamento fotopolimerizador que tenha um espectro de onda abrangente, de forma a conseguir ativar o fotoiniciador presente.<sup>25-27</sup>

De fato, a mudança trouxe inúmeros benefícios, resultando em mais alternativas para tratamento e também cores não antes cobiçadas na odontologia. O que não se pode deixar de lado é o entendimento da compatibilidade da luz utilizada para polimerizar e a composição da resina composta. Os componentes destes materiais devem ser rigorosamente compatíveis, para assim então conseguir o melhor grau de polimerização resinas compostas e conseqüentemente as melhores propriedades de resistência após polimerizados.<sup>25,26,33,34</sup>

Existe também, como demonstrado na literatura, a possibilidade de polimerização adicional, utilizando um micro-ondas, o que faria com que a resina composta tivesse um grau de conversão muito melhor quando comparado a polimerização feita diretamente em boca, podendo aumentar assim a sua resistência, especificamente quando utilizadas como forma de tratamento indireto.<sup>25-27,33-35</sup>

De extrema importância, os componentes de uma resina composta nem sempre estão descritos e detalhados pelo fabricante. Sabe-se que dependendo da potência de um equipamento de fotopolimerização pode não ser capaz de realizar uma boa quantidade de conversão de monômeros em polímeros em uma resina composta, o que irá resultar em altas quantidade de monômeros residuais não ativados, fazendo com que a resina composta fique susceptível a alguns fatores: infiltração, manchamento e fratura, devido ao seu baixo grau de conversão.<sup>21-23,26,28,30</sup>

O conhecimento aprofundado destas características é fundamental para obter o melhor desempenho das resinas compostas, compactando com uma descrição detalhada pelos fabricantes dos componentes e técnicas necessária para realizar uma boa polimerização.<sup>24-27,35</sup>

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a resistência mecânica de resinas compostas utilizando diferentes materiais e técnicas de polimerização.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a resistência a fratura de resinas de mesma classificação utilizando diferentes técnicas de polimerização;
- Verificar a resistência à fratura de resinas compostas de diferentes cores pré-padronizadas;
- Verificar a influência de diferentes fotopolimerizadores na resistência final das resinas compostas;
- Avaliar o grau de conversão das diferentes classes de resinas compostas utilizando diferentes técnicas de polimerização.

### 3. MÉTODOS

#### 3.1 TIPO DE ESTUDO

A presente pesquisa foi um estudo realizado em laboratório (*in vitro*).

#### 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Foram selecionadas 14 marcas de resinas compostas, 4 resinas compostas de classe microhíbrida, 7 resinas compostas de classe nanohíbrida, 2 resinas compostas de classe nanoparticulada e 1 resina composta de classificação suprananométrica conforme descritos na tabela 1. A cor padronizada para a pesquisa foi a cor A2 baseada na escala VITA Classical (Wilcos, Rio de Janeiro, Brasil), exceto para 9 tipos de resinas de diferentes classes, de cores de efeito (transparentes e brancas tipo BL/XL; determinados pelo fabricante). Considerando as resinas de cores padrão A2 (14) e de efeito (9), foram no total 23 resinas compostas, onde a marca e a classificação estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Resinas compostas utilizadas.

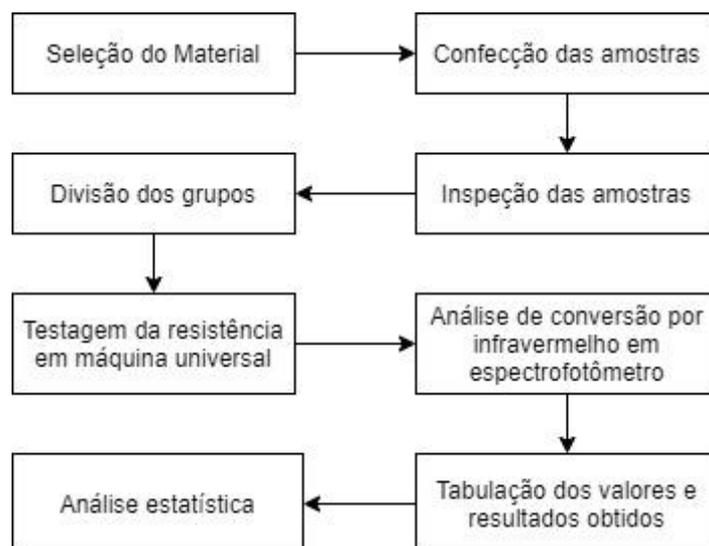
<b>Resina composta</b>	<b>Classificação</b>	<b>Fabricante</b>
Charisma	Microhíbrida	Heraeus Kulzer
Z100	Microhíbrida	3M ESPE
Z250	Microhíbrida	3M ESPE
Polofil Supra	Microhíbrida	VOCO
Empress Direct	Nanohíbrida	Ivoclar Vivadent
Harmonize	Nanohíbrida	Kerr
Herculite Précis	Nanohíbrida	Kerr
Amaris	Nanohíbrida	VOCO
Admira Fusion	Nanohíbrida	VOCO
Grandio	Nanohíbrida	VOCO
GrandioSO	Nanohíbrida	VOCO
Vittra	Nanoparticulada	FGM
Z350	Nanoparticulada	3M ESPE
Palfique LX5	Suprananoparticulada	Tokuyama

Para a polimerização das amostras foram utilizados fotopolimerizadores LED de 2ª e 3ª geração, assim como um micro-ondas. O LED de 2ª geração foi o Emitter

A Fit – Schuster, os LEDs de 3ª geração foram o VALO – Ultradent e também o Emitter Now Duo – Schuster, e o microondas utilizado foi o BMS45 – Brastemp.

### 3.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO

O seguinte esquema em fluxograma designa o sequencial das etapas realizadas no trabalho:



Após a seleção do material, foram confeccionadas, no total, 670 discos de resina (tabela 2), com diâmetro de 8mm e espessura de 1mm, obtidas a partir de um molde de acrílico (figura 1).

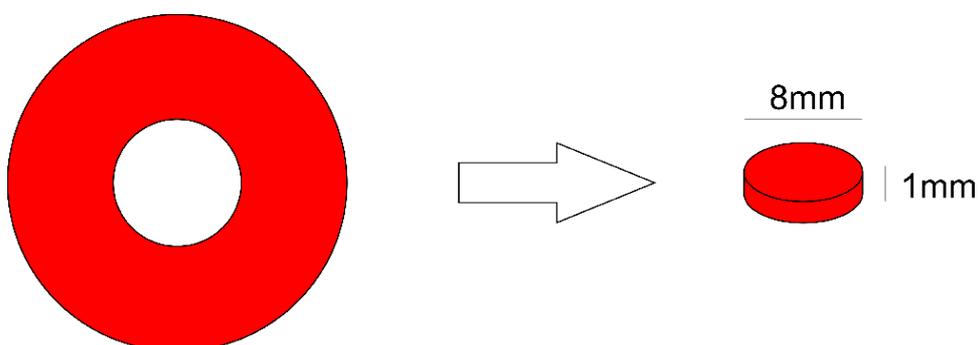


Figura 1. Exemplificação do molde de teflon utilizado para obter as amostras.

Finalizadas e inspecionadas, as amostras foram então divididas em grupos conforme critérios de comparação e equipamentos descritos na tabela 2. Os equipamentos utilizados para polimerização no estudo e suas características foram realizados da seguinte forma: Valo - Ultradent fotopolimerização de 15 segundos

na potência de 1100mw/cm<sup>2</sup>; Emitter A Fit – Schuster fotopolimerização de 15 segundos na potência de 1250mw/cm<sup>2</sup>; Emitter Now Duo – Schuster fotopolimerização de 15 segundos na potência de 1250mw/cm<sup>2</sup>; e a polimerização adicional no micro-ondas BMS45 – Brastemp feita por um tempo de 3 minutos na potência de 450W. O tempo foi padronizado para a resina receber o mínimo de energia necessário de 16 Joules.

O equipamento Valo – Ultradent se caracteriza por LED de 3ª geração e tem um espectro de onda entre 395-480nm e Emitter Now Duo – Schuster também de 3ª geração com espectro de onda entre 385-515nm. O equipamento Emitter A Fit – Schuster se caracteriza por LED 2ª geração com espectro de onda entre 420-480nm.

Cada equipamento teve sua intensidade de luz monitorada através do radiômetro digital RD-7 – ECEL, que captura luz visível com comprimentos de onda entre 400 e 500nm de 0 até 1270mw/cm<sup>2</sup> de potência de luz, com uma precisão de 5% para mais ou menos.

As amostras prontas foram então submetidas a análise em lupa estereoscópica Stemi DV4 (Zeiss, Oberkochen, Alemanha), para verificação de possíveis falhas e por fim conseguir uma padronização de todos os espécimes. As amostras que apresentaram as seguintes falhas: trincas, falta de material, manchamento ou alguma outra deformidade foram descartadas. As amostras finalizadas foram acopladas em caixa preta selada, sem interferências de qualquer luminosidade e armazenadas em local limpo e seco.

### 3.4 TESTES

O teste selecionado foi o de resistência flexural biaxial, descrito por Rueggeberg e colaboradores em 2009,<sup>30</sup> utilizando a máquina universal de testes (Kratos, São Paulo, Brasil) através de um dispositivo de pistão. Cada disco será colocado em um gabarito personalizado com suporte circunferencial de 1 mm e a carga aplicada no centro do pistão plano com diâmetro de 0,5 mm, com velocidade de 0,5mm/min até a falha da amostra (figura 2). Nesse momento o teste da amostra foi finalizado e os dados foram coletados da máquina universal.

Tabela 2. Quantidade de amostras por grupo e cor.

Tipos de grupos	Grupos de comparação de equipamento (cor A2)			Grupo com polimerização adicional (cor A2)	Grupos de comparação de equipamento (cores de efeito)		
	Valo - Ultradent	Emitter A Fit - Schuster	Emitter Now Duo - Schuster		Emitter A Fit - Schuster + Microondas	Valo - Ultradent	Emitter A Fit - Schuster
Equipamento de polimerização	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
<b>Resina composta</b>							
Charisma	10	10	-	-	-	-	-
Z100	10	10	10	10	-	-	-
Z250	10	10	-	-	-	-	-
Polofil Supra	10	10	-	-	-	-	-
Empress Direct	10	10	-	-	10	10	10
Harmonize	10	10	10	10	-	-	-
Herculite Précis	10	10	-	-	10	10	10
Amaris	10	10	-	-	10	10	10
Admira Fusion	10	10	-	-	10	10	10
Grandio	10	10	10	10	20	20	20
GrandioSO	10	10	-	-	10	10	10
Vittra	10	10	10	10	10	10	10
Z350	10	10	10	10	10	10	-
Palfique LX5	10	10	-	-	10	10	10
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90</b>

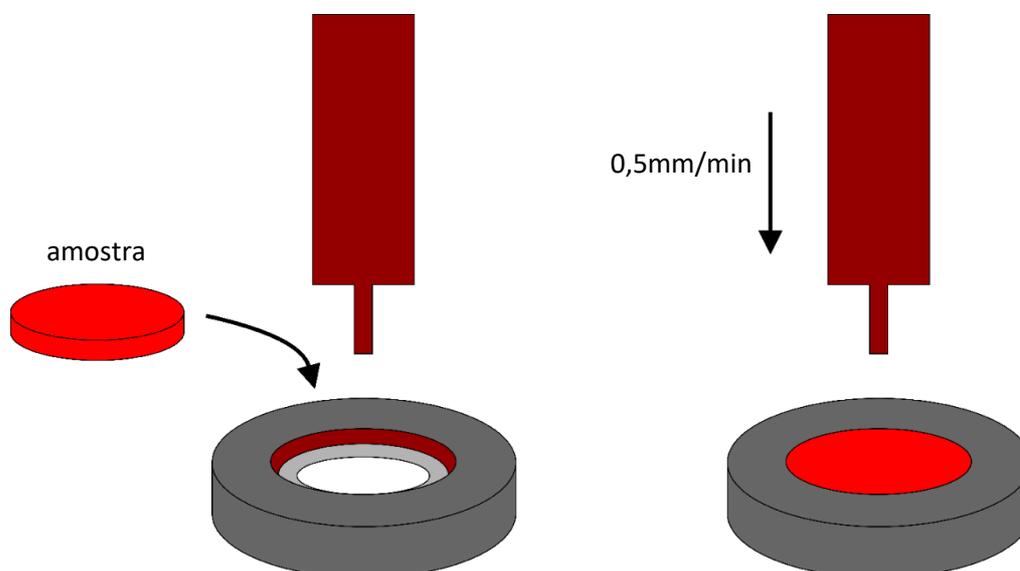


Figura 2. Exemplificação do teste de resistência flexural biaxial.

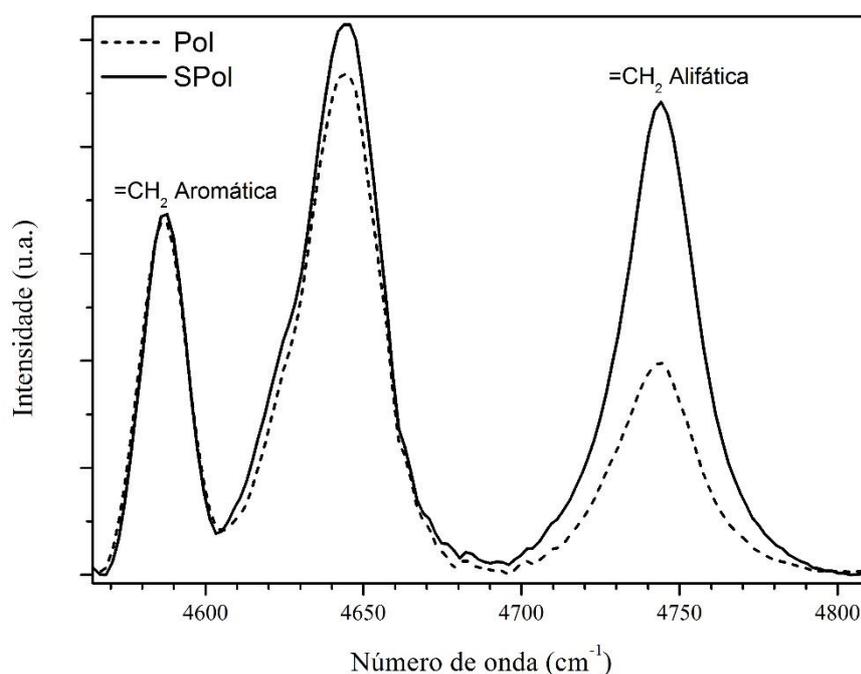


Figura 3. Espectro de absorção das resinas compostas, antes (SPol) e depois (Pol) da fotopolimerização.

Tabela 3. Quantidade de amostras submetidas ao teste de espectroscopia.

	Valo - Ultradent	Emitter A Fit - Schuster	Emitter Now Duo - Schuster
Charisma	1	1	1
Z100	1	1	1
Z250	1	1	1
Polofil Supra	1	1	1
Empress Direct	2	1	1
Harmonize	1	1	1
Herculite Précis	1	1	1
Amaris	2	1	1
Admira Fusion	2	1	1
Grandio	3	1	1
GrandioSO	2	1	1
Vittra	2	1	1
Z350	2	1	1
Palfique LX5	2	1	1
TOTAL	23	23	23

Após a testagem da resistência, amostras das mesmas resinas (tabela 3) foram submetidas a uma avaliação da quantidade polimerizada dos espécimes

(grau de conversão), onde a amostra foi submetida a uma espectroscopia por infravermelho, utilizando o equipamento Espectrofotômetro FT-IR Nicolet modelo Nexus 670.

A figura 3 mostra o espectro de absorção que foi obtido em cada resina composta. Observa-se que há dois registros, antes e depois da fotopolimerização, que foram utilizados para calcular o grau de conversão das resinas compostas.

Cada amostra descrita (tabela 3) foi realizada da seguinte forma: uma porção da resina não polimerizada, em torno de 2mm<sup>2</sup>, foi removido do tubo e prensada entre duas lâminas de vidro e acoplada em peça padrão para ir ao equipamento de espectroscopia e realizar a leitura do espécime não polimerizado. Após, a resina recebeu a polimerização conforme o equipamento: Valo - Ultradent fotopolimerização de 15 segundos na potência de 1100mw/cm<sup>2</sup>; Emitter A Fit – Schuster fotopolimerização de 15 segundos na potência de 1250mw/cm<sup>2</sup>; Emitter Now Duo – Schuster fotopolimerização de 15 segundos na potência de 1250mw/cm<sup>2</sup>. Assim, após 90 segundos realizou-se a leitura para obter o grau de conversão polimerizado. Todos os equipamentos fotopolimerizadores foram utilizados de forma que a ponta ficasse encostada e cobrisse todo o espécime.

### 3.5 VARIÁVEIS DO ESTUDO

Quadro 1. Variáveis do estudo.

<b>Variáveis</b>	<b>Tipo</b>	<b>Natureza</b>	<b>Proposta de utilização</b>
Resistência à fratura	Dependente	Quantitativa	Média e desvio padrão (N)
Grau de conversão	Dependente	Quantitativa	Média e desvio padrão
Cor	Independente	Qualitativa	Cor A2; Cores de Efeito

### 3.6 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Os resultados obtidos tanto pela máquina universal de teste e pelo espectrofotômetro, foram tabulados e armazenados no programa Excel (Microsoft, Washington, EUA). A análise estatística foi realizada adotando um nível de significância de 5%, os dados foram submetidos ao teste de Tukey para comparação múltipla ( $p=0,05$ ).

### 3.7 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA

Por se tratar de uma pesquisa *in vitro* sem uso de material biológico, a presente pesquisa dispensa a utilização do CEP (Comitê de Ética em pesquisa).

#### 4. ARTIGO

**TÍTULO:** AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE RESINAS COMPOSTAS UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE POLIMERIZAÇÃO

Alef Vermudt<sup>1</sup>, Milton Carlos Kuga<sup>2</sup>, Thaís Piragine Leandrin<sup>2</sup>, João Carlos Silos Moraes<sup>3</sup>, Jefferson Ricardo Pereira<sup>1</sup>

- 1- Programa de Pós Graduação em Ciências da Saúde, Universidade do Sul de Santa Catarina, Unisul, Tubarão, Santa Catarina;
- 2- Universidade Estadual Paulista, Unesp, Araraquara, São Paulo;
- 3- Universidade Estadual Paulista, Unesp, Ilha Solteira, São Paulo.

Autor Correspondente:

Alef Vermudt

CEP 88701470, Tubarão, SC, Brasil

R. Aldo Hulse, 747

Tel +55 48 998564235

Email [alefvermudt1@gmail.com](mailto:alefvermudt1@gmail.com)

## RESUMO

**Introdução:** As resinas compostas são uma classe de materiais restauradores dentários à base de componentes resinosos orgânicos e inorgânicos. A quantidade de cada componente é variável e dependente do seu fabricante. Ao longo dos anos, as características desses materiais foram modificadas no intuito de melhorar suas qualidades físico-químicas, gerando questionamentos e necessidade da busca de mais conhecimento para utilizá-los. Desse modo, surge à dúvida se a utilização das resinas disponíveis no mercado mantém suas melhores características físicas-químicas-mecânicas à restauração, utilizando diferentes técnicas de polimerização

**Objetivo:** Avaliar a resistência mecânica de resinas compostas utilizando diferentes materiais e técnicas de polimerização.

**Métodos:** Foram testados no total 23 resinas compostas de classes e cores. Para a polimerização das amostras foram utilizados fotopolimerizadores LED de 2ª e 3ª geração, assim como um micro-ondas. O LED de 2ª geração foi o Emitter A Fit – Schuster, os LEDs de 3ª geração foram o VALO – Ultradent e também o Emitter Now Duo – Schuster, e o microondas que utilizado foi o BMS45 – Brastemp. No total, 670 discos de resina, com diâmetro de 8mm e espessura de 1mm foram confeccionados. Utilizando a máquina universal de testes, cada disco foi submetido a uma carga aplicada no centro, através de um pistão plano com diâmetro de 0,5 mm, com velocidade de 0,5mm/min até a falha da amostra. As mesmas resinas também foram submetidas a espectroscopia por infravermelho para avaliar o grau de conversão. Para análise estatística, o teste de tukey foi utilizado para comparação múltipla ( $p=0,05$ ).

**Resultados:** Os testes de resistência à fratura não demonstraram diferenças significativas entre as resinas quando comparado os fotopolimerizadores utilizados, porém foram encontradas diferenças quando comparado as diferentes classes de resinas compostas ( $p<0,05$ ).

**Conclusão:** Resinas compostas de classes diferentes influenciam significativamente na resistência final do material, no entanto, os diferentes métodos de polimerização na mesma resina não apresentaram diferenças significativas.

**Descritores:** Resina composta. Polimerização. Resistência à fratura.

## ABSTRACT

**Introduction:** Composite resins are a class of restorative materials based on composite organic and inorganic resin components. The amount of each component is variable and depends on its manufacturer. Over the years, as characteristics of these materials were modified in order to improve chemistry, generating questions and the need to search for more knowledge to use them. Thus, the question arises whether the use of resins available on the market maintains its best physical-chemical-mechanical characteristics for the restoration, using different polymerization techniques.

**Objective:** To evaluate the mechanical strength of composite resins using different materials and polymerization techniques.

**Methods:** A total of 23 composite resins of grades and colors were tested. For the polymerization of the samples, 2nd and 3rd generation LED curing lights were used, as well as a microwave. The 2nd generation LED was the Emitter A Fit – Schuster, the 3rd generation LEDs were the VALO – Ultradent and also the Emitter Now Duo – Schuster, and the microwave used was the BMS45 – Brastemp. In total, 670 resin discs, with a diameter of 8 mm and a thickness of 1 mm, were made. Using the universal testing machine, each disc was subjected to a load applied to the center, through a flat piston with a diameter of 0.5 mm, with a speed of 0.5 mm/min until the sample failed. The same resins were also altered spectroscopy to evaluate the degree of conversion. For analysis, the tukey test was used for multiple comparison ( $p=0.05$ ).

**Results:** Differences between composite resins do not differentiate the differences between composite resins when compared to the composite resins used, but they are differences when compared to different composite resin classes ( $p<0.05$ ).

**Conclusion:** Different grades of composite resins influence the final strength of the material.

**Keywords:** Composite resin. Polymerization. Fracture resistance.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do trabalho realizado pode-se concluir:

- 1- As resinas compostas de diferentes classificações apresentaram valores de resistência significativamente diferentes ( $p < 0,05$ );
- 2- O uso de diferentes fotopolimerizadores não alterou significativamente os valores de resistência das resinas composta, desde que a fonte de luz não tenha distância para o material ( $p > 0,05$ );
- 3- As cores não influenciaram na resistência à fratura das resinas compostas ( $p > 0,05$ );
- 4- O grau de conversão não demonstrou grandes alterações quando comparado diferentes fotopolimerizadores, exceto para a resina Vittra E Bleach ( $p > 0,05$ ).

## REFERÊNCIAS

1. Pitts N, Zero D, Marsh P, et al. Dental caries. *Nat Rev Dis Primers*. 2017;3:17030.
2. Ferracane JL. Models of Caries Formation around Dental Composite Restorations. *J Dent Res*. 2017;96(4):364-371.
3. Ferracane JL. Resin composite – state of the art. *Dent Mater*. 2011;27:29-38.
4. Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Lehoup G. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. *Dent Mater*. 2013;29:139-156.
5. Owens BM, Slaven, Phebus JG, Ragain JC. Determination and Correlation of Depth of Cure of a New Composite Resin Delivery System. *J Tenn Dent Assoc*. 2015;95(2):39-44.
6. Aydinoğlu A, Yoruç ABH. Effects of silane-modified fillers on properties of dental composite resin. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2017;1(79):382-389.
7. Brown KM, Gillespie G. Advancements in Composite Resin Material Enable Streamlined Direct Restoration Process. *Compend Contin Educ Dent*. 2019;40(2):2-6.
8. Arola DD, Gao S, Zhang H, Masri R. The Tooth: Its Structure and Properties. *Dent Clin North Am*. 2017;61(4):651-668.
9. Mathur VP, Dhillon JK. Dental Caries: A Disease Which Needs Attention. *Indian J Pediatr*. 2018;85(3):202-206.
10. Laske M, Opdam NJM, Bronkhorst EM, Braspenning JCC, Huysmans MCDNJM. Risk Factors for Dental Restoration Survival: A Practice-Based Study. *Dent Res*. 2019;98(4):414-422.
11. Padovani GC, Feitosa VP, Sauro S, Tay FR, Durán G, Paula AJ, Durán N. Advances in Dental Materials through Nanotechnology: Facts, Perspectives and Toxicological Aspects. *Trends Biotechnol*. 2015;33(11):621-636.
12. Simos S. Direct composite resin restorations: placement strategies. *Dent Today*. 2011;30(8):108-111.
13. Yadav R, Kumar M.J. Dental restorative composite materials: A review. *Oral Biosci*. 2019;61(2):78-83.

14. Pitel ML. Low-shrink composite resins: a review of their history, strategies for managing shrinkage, and clinical significance. *Compend Contin Educ Dent*. 2013;34(8):578-90.
15. Margeas R. Composite resin: a versatile, multi-purpose restorative material. *Compend Contin Educ Dent*. 2012;33(1):42-5.
16. Price RBT. Light Curing in Dentistry. *Dent Clin North Am*. 2017;61(4):751-778.
17. Elgendy H, Maia RR, Skiff F, Denehy G, Qian F. Comparison of light propagation in dental tissues and nano-filled resin-based composite. *Clin Oral Investig*. 2019;23(1):423-433
18. Balbinot EDCA, Pereira MFCC, Skupien JA, Balbinot CEA, da Rocha G, Vieira S. Analysis of transmittance and degree of conversion of composite resins. *Microsc Res Tech*. 2019;82(11):1953-1961
19. Souza MBA, Briso AL, de Oliveira-Reis B, Dos Santos PH, Fagundes TC. Influence of Light-curing Units on Surface Microhardness and Color Change of Composite Resins after Challenge. *J Contemp Dent Pract*. 2019;20(2):204-210.
20. Chang HS, Cho KJ, Park SJ, Lee BN, Hwang YC, Oh WM, Hwang IN. Thermal analysis of bulk filled composite resin polymerization using various light curing modes according to the curing depth and approximation to the cavity wall. *J Appl Oral Sci*. 2013;21(4):293-299.
21. Strazzi-Sahyon HB, Rocha EP, Assunção WG, Dos Santos PH. Influence of Light-Curing Intensity on Color Stability and Microhardness of Composite Resins. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2020;40(1):129-134.
22. Brandt WC, Silva CG, Frollini E, Souza-Junior EJ, Sinhorette MA. Dynamic mechanical thermal analysis of composite resins with CQ and PPD as photo-initiators photoactivated by QTH and LED units. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2013;24:21-29.
23. Lucey SM, Santini A, Roebuck EM. Degree of conversion of resin-based materials cured with dual-peak or single-peak LED light-curing units. *Int J Paediatr Dent*. 2015;25(2):93-102.
24. 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;25(2):140-146.

25. Manojlovic D, Dramićanin MD, Lezaja M, Pongprueksa P, Van Meerbeek B, Miletic V. Effect of resin and photoinitiator on color, translucency and color stability of conventional and low-shrinkage model composites. *Dent Mater.* 2016;32(2):183-191.
26. Salgado VE, Borba MM, Cavalcante LM, Moraes RR, Schneider LF. Effect of photoinitiator combinations on hardness, depth of cure, and color of model resin composites. *J Esthet Restor Dent.* 2015;27(1):41-48.
27. Meereis CT, Leal FB, Lima GS, de Carvalho RV, Piva E, Ogliari FA. BAPO as an alternative photoinitiator for the radical polymerization of dental resins. *Dent Mater.* 2014;30(9):945-953.
28. Schneider LF, Pfeifer CS, Consani S, Pahl SA, Ferracane JL. Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. *Dent Mater.* 2008;24(9):1169-77.
29. Randolph LD, Palin WM, Bebelman S, Devaux J, Gallez B, Leloup G, Leprince JG. Ultra-fast light-curing resin composite with increased conversion and reduced monomer elution. *Dent Mater.* 2014;30(5):594-604.
30. Pereira AG, Raposo L, Teixeira D, Gonzaga R, Cardoso IO, Soares CJ, Soares PV. Influence of Battery Level of a Cordless LED Unit on the Properties of a Nanofilled Composite Resin. *Oper Dent.* 2016;41(4):409-416.
31. Chandrapal A. Practical application of composite resin techniques in the posterior dentition. *Br Dent J.* 2016;220(5):271-2.
32. Hardy CMF, Bebelman S, Leloup G, Hadis MA, Palin WM, Leprince JG. Investigating the limits of resin-based luting composite photopolymerization through various thicknesses of indirect restorative materials. *Dent Mater.* 2018;34(9):1278-1288.
33. Milosevic A. Clinical guidance and an evidence-based approach for restoration of worn dentition by direct composite resin. *Br Dent J.* 2018;224(5):301-310.
34. Berger SB, Petri Z, Hass V, Guiraldo RD, Favaro JC, Lopes MB, González AH. Effect of whitening mouthrinses on bulk-fill composites. *Am J Dent.* 2019;32(5):235-239.
35. Grazioli G, Francia A, Cuevas-Suárez CE, Zanchi CH, Moraes RR. Simple and Low-Cost Thermal Treatments on Direct Resin Composites for Indirect Use. *Braz Dent J.* 2019;30(3):279-284.

36. 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.