



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – CLÍNICA ODONTOLÓGICA

**AVALIAÇÃO DE UMA RESINA COMPOSTA DIRETA COM POLIMERIZAÇÃO
ADICIONAL POR MEIO DO TESTE DE RESISTÊNCIA FLEXIONAL E MÓDULO
DE ELASTICIDADE**

MATHEUS RIBEIRO GUERRA

SALVADOR - BA

2013

MATHEUS RIBEIRO GUERRA

**AVALIAÇÃO DE UMA RESINA COMPOSTA DIRETA COM POLIMERIZAÇÃO
ADICIONAL POR MEIO DO TESTE DE RESISTÊNCIA FLEXIONAL E MÓDULO
DE ELASTICIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Clínica Odontológica.

Orientadora: Profa. Dra. Viviane Maia Barreto de Oliveira

SALVADOR-BAHIA

2013

Ficha Catalográfica elaborada pela
Biblioteca Central da EBMSP

G934 Guerra, Matheus Ribeiro

Avaliação de uma resina composta direta com polimerização adicional por meio do teste de resistência flexional e módulo de elasticidade./
Matheus Ribeiro Guerra. – Salvador. 2013.

52f. il.

Dissertação (Mestrado) apresentada á Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública. Programa de Programa de Pós - graduação em Odontologia, área de concentração Clínica Odontológica.

Orientadora: Profa. Dra. Viviane Maia Barreto de Oliveira

Inclui bibliografia

1. Propriedades físicas. 2. Resinas compostas. 3. Ensaios. I. Título.

CDU: 616.314

**AVALIAÇÃO DE UMA RESINA COMPOSTA DIRETA COM POLIMERIZAÇÃO
ADICIONAL POR MEIO DO TESTE DE RESISTÊNCIA FLEXIONAL E MÓDULO
DE ELASTICIDADE**

MATHEUS RIBEIRO GUERRA

Folha de Aprovação

Comissão Examinadora

Membros titulares

Prof. Dr. Anderson Pinheiro de Freitas

Prof. Adjunto do Curso de Odontologia da UFBA

Doutor em Dentística – Área de Materiais Dentários pela Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Juliana Fellipi de Azevedo Bandeira

Profa. Assistente da Faculdade de Odontologia da FBDC

Doutora em Dentística pela Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Emilena Maria Castor Xisto Lima

Profa. Adjunta da Faculdade de Odontologia da FBDC

Doutora em Clínica Odontológica pela Universidade Estadual de Campinas

Membro suplente

Prof. Dr. Luiz Gustavo Cavalcante Bastos

Prof. Adjunto da Faculdade de Odontologia da FBDC

Doutor em Prótese pela Universidade de São Paulo

SALVADOR

2013

**A todos aqueles que, inconformados com os rumos da humanidade, descubrem que a
melhor maneira de mudar é através do ensino.**

Matheus R. Guerra

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha orientadora Viviane Maia pelo prazer da convivência, pelo apoio irrestrito e, principalmente pelo acolhimento nos momentos de dificuldades.

A querida Professora Andrea Cavalcanti pelo auxílio técnico deste trabalho, pelas sugestões valiosas para o meu crescimento profissional e pela realização do processamento estatístico.

Ao Prof. Dr. Luiz Gustavo Bastos pelo apoio técnico, incentivo e principalmente pela confiança.

Ao Prof. Dr. Anderson Freitas pelo apoio, recepção e pela participação na minha banca.

A Profa. Dra. Emilena Xisto Lima pelos ensinamentos, apoio e participação na banca.

A Profa. Dra. Juliana Felippi de Azevedo Bandeira pela participação na banca e sugestões valiosas.

Ao meu amigo e mestre, Prof. Dr. Francisco Simões, que me incentivou a seguir esta carreira desde o início e sempre confiou na minha capacidade de substituí-lo quando necessário.

Ao Prof. Dr. Urbino Tunes pelo seu exemplo de liderança e gentileza que se reflete em todos os funcionários da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública.

Ao TPD Giovani Heckert pelo auxílio e disponibilização dos equipamentos.

A colega Profa. Cristal Fernandez por ter iniciado este projeto e compartilhado as suas descobertas, fazendo com que as dificuldades fossem ultrapassadas.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia- FAPESB pela concessão da bolsa de estudos como incentivo financeiro a esta pesquisa.

Ao amigo e Mestre Prof. Vagner Mendes pelos ensinamentos, confiança e principalmente por me orientar nas minhas escolhas.

Ao amigo, compadre e colega Dr. Lucas Hansen, por compartilhar das minhas ideologias, ser o meu filtro profissional e sempre me mostrar que escolhi a profissão certa.

A todos os colegas da turma pela convivência enriquecedora, pela solidariedade e pelas críticas no momento certo. Em especial agradeço ao colega Helder Valiense pela amizade construída ao longo do curso, por ser uma fonte de conhecimento, por compartilhar a sua vida comigo e pelo carinho com a minha família.

Agradeço aos meus pais por sempre sonharem os meus sonhos e colocarem seus esforços na minha trajetória.

A minha esposa Daniela pelos sacrifícios materiais e emocionais que sempre oferece à minha vida e pela filha amada e iluminada que me deu.

Agradeço a todos aqueles que me deram forças para seguir em frente, levantar, começar de novo e por fim concluir este sonho.

INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS:

- ESCOLA BAHIANA DE MEDICINA E SAÚDE PÚBLICA
- UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA – FACULDADE DE ODONTOLOGIA

FONTE FINANCIADORA:

- FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DA BAHIA

Pedido Nº: 1031/2012 Termo Nº: BOL1128/2012

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	9
2. MANUSCRITO I	11
RESUMO	12
INTRODUÇÃO	13
REVISÃO DE LITERATURA	14
Resinas compostas	14
Forças recebidas pelas restaurações	16
Ensaio utilizado para a avaliação das resinas compostas	17
CONCLUSÃO	21
ABSTRACT	22
REFERÊNCIAS	23
3. MANUSCRITO II	25
RESUMO	26
INTRODUÇÃO	27
MATERIAL E MÉTODOS	29
Materiais	
Da obtenção dos corpos de prova	
Do acabamento/armazenamento das amostras	
Teste de resistência à flexão	
Cálculo da resistência à flexão	
Cálculo do módulo de elasticidade	
Análise estatística	
RESULTADOS	38
DISCUSSÃO	40
CONCLUSÕES	42
ABSTRACT	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXOS	47

INTRODUÇÃO GERAL

O sucesso de um tratamento restaurador depende diretamente de um planejamento correto baseado no conhecimento de técnicas e domínio do uso dos materiais odontológicos. Em cada caso específico haverá a necessidade de optar por um determinado material ou técnica, e esta decisão deve estar sempre fundamentada no conhecimento científico e domínio do profissional.

Diante do surgimento de um novo material ou técnica, a seleção deste pelo cirurgião-dentista, deve estar baseada nas características físicas, químicas, mecânicas e biológicas do mesmo. Nenhuma propriedade isolada pode ser utilizada para medir a qualidade dos materiais.^{8R}

Alguns testes ou ensaios mecânicos avaliam as diversas propriedades dos materiais dentários restauradores. Dentre eles tem-se: resistência à compressão, ao cisalhamento, à fadiga, de união, torção e deflexão. Novos materiais têm surgido no mercado odontológico ao longo dos anos e a sua indicação comercial depende dos resultados dos testes laboratoriais e clínicos para garantir a segurança do seu uso.

Eventualmente, materiais sugeridos como a resolução dos problemas estéticos e funcionais têm seu uso contraindicado após alguns anos de aplicação clínica, enquanto outros têm sua formulação ou técnica aprimorada no intuito de melhorar as suas propriedades. Situação semelhante aconteceu com as resinas compostas, cuja modificação da fórmula e do tamanho das partículas, permitiu a extensão da sua utilização para dentes posteriores.^{15R 16R}

Na clínica diária, as reabilitações com resinas compostas diretas são utilizadas frequentemente com sucesso. Nos casos onde existem grandes perdas de estrutura dental, a opção seria pelo uso de restaurações indiretas que são confeccionadas em laboratórios protéticos utilizando-se como material restaurador os sistemas cerâmicos e as resinas laboratoriais. Esta técnica permite a execução mais detalhada desta reconstrução e uma melhor adaptação após a cimentação.^{15R 16R}

As resinas laboratoriais são adaptações daquelas para uso direto que sofreram modificações na sua composição, com o aumento de cargas inorgânicas, melhorando as características mecânicas. Reduzindo a de polimerização e o processo de desgaste intra-oral.^{5P}

Entretanto, as resinas laboratoriais, requerem a utilização de equipamentos específicos, aumentando os custos da reabilitação. Com o objetivo de reduzir este valor e de facilitar a técnica, os fabricantes de resinas compostas diretas passaram a ampliar o seu uso para técnicas indiretas, porém com resultados biomecânicos inferiores às resinas laboratoriais.^{11P}

No intuito de melhorar estas características, alguns pesquisadores têm estudado métodos de polimerização adicional que possam aumentar significativamente algumas destas propriedades além de aumentar a capacidade do polimento e sua manutenção, uma vez que aumenta a conversão dos monômeros.^{5P}

Tendo em vista a possibilidade terapêutica e a ausência de protocolos sobre a melhor técnica a ser utilizada, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão na literatura, acerca das principais propriedades físicas avaliadas para resinas compostas diretas ou indiretas, como também avaliar a resistência à flexional e o módulo de elasticidade de uma resina fotopolimerizável de uso direto, submetida a um método de polimerização adicional com variação de tempo e posição dos corpos de prova dentro do forno micro-ondas.

Manuscrito I

**PROPRIEDADES FÍSICAS RELEVANTES AO ESTUDO DAS RESINAS
COMPOSTAS**

RESUMO

As evoluções constantes sofridas pelos materiais dentários ocorrem como resultado da busca pelo chamado “material ideal”. O desenvolvimento de um material não termina na finalização da sua composição pelo fabricante, e sim, após este ter sido submetido a diversas condições que simulem a sua futura aplicabilidade clínica. É importante identificar um material que forneça propriedades semelhantes às estruturas dentárias que serão substituídas e que promova longevidade ao procedimento restaurador. Este trabalho teve como objetivo revisar a literatura acerca dos testes utilizados para avaliação das propriedades físicas das resinas compostas. Testes como abrasão, polimento, rugosidade, contração volumétrica e os diversos ensaios de resistência são indispensáveis ao estudo dos materiais dentários e estes, somados, sugerem a sua eficiência clínica. Uma das maiores dificuldades em testes ou ensaios de um modo geral está na construção de uma metodologia para que seja possível a difusão da confiabilidade do estudo e que permita sua reprodução. A escolha de um material, ou mesmo de uma técnica associada a ele, pode ser facilitada pela divulgação das propriedades necessárias para que este seja compatível mecânica, biológica e esteticamente, e que, principalmente, facilite a sua aplicação na clínica diária. Diante desta revisão de literatura os testes mais frequentemente utilizados para avaliação das propriedades físicas são a resistência flexional, resistência à fratura, resistência à compressão, microdureza e rugosidade superficial. Importante ressaltar que não é possível correlacionar diretamente os resultados *in vitro* com a aplicabilidade clínica.

Palavras-chave: Propriedades físicas, Resinas compostas, Ensaio.

INTRODUÇÃO

Os materiais dentários passam por constantes evoluções em sua composição ou forma de aplicação. A busca pelo chamado “material ideal” muitas vezes apresenta limitações tanto na sua aplicabilidade como também no que diz respeito às condições biológicas. Desde o advento da técnica adesiva, aliada à evolução dos materiais restauradores, essa área vem experimentando um desenvolvimento tão grande que os compósitos atuais conseguem aliar cada vez mais resistência à estética requerida¹.

Optar por um material baseado apenas nas suas características comerciais, certamente não é o meio adequado para alcançar o sucesso em um tratamento. Antes de tudo, deve-se ter conhecimento dos métodos científicos utilizados para o desenvolvimento da técnica, dos tipos de testes e suas aplicabilidades, pois, assim pode-se favorecer a decisão mais adequada.

O estudo da composição e propriedades dos materiais dentários e o comportamento deste material em situações específicas fornece confiabilidade para que este seja colocado no mercado. Porém, mesmo após ter sido lançado, um material deve continuar sendo avaliado, seja em situações comuns ao seu uso ou mesmo em modificações da técnica.

Barcellos et al² avaliaram a microdureza e a resistência à compressão de compósitos resinosos indiretos. Os mesmos afirmam que, a atenção às propriedades mecânicas deve ser constante, devido à grande variedade de materiais disponíveis para a realização de restaurações indiretas com compósitos. Os autores chamam a atenção para o fato de que existem no mercado diversas marcas comerciais, entretanto, muitas dessas não apresentam estudos prévios que comprovem suas indicações e sucesso como material restaurador.

Expor um material restaurador a condições que se assemelhem ao seu uso clínico, possibilita avaliar o desempenho deste em situações adversas antes de ser comercializado. Um estudo que retrata esse tipo de situação realizado por Reis et al.³ avaliou a diferença entre a resistência à compressão de resinas compostas fotopolimerizáveis submetidas ao envelhecimento artificial acelerado. Estes autores ressaltaram que, avaliar a degradação dos materiais *in situ* envolve algumas dificuldades e diversas variáveis, como diferenças na dieta, pH da cavidade bucal, microbiota, entre outros, além do fator tempo, sendo esse um problema em decorrência da agilidade da evolução industrial e da insegurança dos profissionais com relação aos materiais encontrados.

No campo científico, uma das maiores dificuldades em testes e ensaios de um modo geral, está na construção da metodologia. Esta possibilita a difusão da confiabilidade do estudo e permite sua reprodução.

Tendo em vista a possibilidade da realização de um tratamento reabilitador e a variedade de protocolos a serem utilizados, o objetivo deste trabalho foi revisar a literatura acerca dos testes utilizados para avaliação das propriedades físicas das resinas compostas.

REVISÃO DE LITERATURA

Avanços na área da Odontologia Restauradora têm contribuído para o desenvolvimento e evolução de diferentes materiais dentários com melhores características mecânicas e estéticas. A atual demanda por procedimentos estéticos tem exigido cada vez mais das técnicas de reconstrução dental e dos materiais. Nenhum outro material restaurador tem sido tão modificado e melhorado nesta década como as resinas compostas⁴.

A construção de uma técnica na área odontológica muitas vezes está baseada na observação e curiosidade a respeito de ações do dia a dia. Um dos casos clássicos foi o estudo de Buonocore⁵ onde foi utilizada uma ideia de condicionamento do casco de navios para a adesão de resina aos dentes. Isto possibilitou melhorias nas propriedades mecânicas e na qualidade estética das restaurações, tanto de dentes anteriores quanto de posteriores.

RESINAS COMPOSTAS

Dentes que sofreram grandes destruições em sua estrutura, necessitam do emprego de materiais e técnicas específicas para a sua reconstrução. Os métodos restauradores tradicionais, que necessitavam de preparos cavitários retentivos, estão sendo cada vez mais substituídos por procedimentos restauradores menos invasivos. Com o passar dos anos, as propriedades das resinas compostas foram sendo aperfeiçoadas, possibilitando uma indicação mais segura, em se tratando de restaurações estéticas posteriores⁶, reduzindo deficiências como a contração de polimerização, falhas de união à dentina e o manchamento superficial. As principais características das resinas compostas estão relacionadas com as excelentes propriedades estéticas deste material, a possibilidade de prover maior resistência ao remanescente dental e menor necessidade de remoção de estrutura dental sadia durante o preparo cavitário. Além disso, a contração de polimerização reduzida melhorou a resistência

ao desgaste das resinas permitindo sua indicação tanto para os dentes anteriores quanto para os dentes posteriores⁷.

Os compósitos indiretos, quando comparados aos diretos, apresentam melhor polimento, menor retenção de placa bacteriana, menor susceptibilidade ao acúmulo de pigmento, menor descoloração, melhor adaptação marginal e menor contração de polimerização, pois o material de cimentação é usado em quantidade pequena a ser polimerizado na cavidade oral. Além disso, os compósitos indiretos apresentam melhores propriedades mecânicas quando comparados aos compósitos diretos, devido ao seu processo de polimerização, que é realizado em condições laboratoriais adequadas, assegurando uma polimerização mais completa e melhorando substancialmente suas propriedades físicas e mecânicas².

Reis et al.³ chamam a atenção para o fato de que apesar do grande número de marcas comerciais existentes no mercado, muitos desses materiais não apresentam boa adaptação marginal, resistência à abrasão, biocompatibilidade e alta resistência à compressão, podendo apresentar modificação de cor, descoloração marginal e porosidade. Isso ocasiona uma preocupação em relação à durabilidade do material.

Diante do surgimento de um novo material ou técnica, a seleção deste pelo cirurgião-dentista, deve estar baseada nas características físicas, químicas, mecânicas e biológicas do material. Nenhuma propriedade isolada pode ser utilizada para medir a sua qualidade⁸.

As limitações frequentemente relacionadas aos materiais dentários aparecem quando as suas características são somadas. Os avanços nas técnicas restauradoras procuram promover um equilíbrio entre estética e função. Um material que sofreu modificações para melhorar as propriedades estéticas pode acabar por desfavorecer a sua resistência, pois provavelmente serão removidos de sua composição componentes que a favorecem, já que são estes que dificultam o polimento final, por exemplo. O mesmo pode acontecer quando é incorporado algum elemento que dê resistência, mas que altere negativamente as características estéticas. Isto aconteceu com as porcelanas para infraestrutura, que perderam qualidade estética para aumentar sua resistência⁹.

As propriedades de um compósito são influenciadas por: composição e grau de conversão da fase orgânica; fração volumétrica; tamanho e distribuição das partículas de carga, e estabilidade da união destas à matriz aglutinante. Do ponto de vista clínico, entretanto, a

redução do tamanho das partículas proporciona melhor polimento e maior resistência da restauração ao desgaste¹⁰.

FORÇAS RECEBIDAS PELAS RESTAURAÇÕES

Uma das mais importantes aplicações da ciência dos materiais em Odontologia é o estudo das forças aplicadas aos dentes e às restaurações dentárias, são as chamadas forças oclusais. As forças oclusais e as respostas dos tecidos subjacentes mudam de acordo com a localização anatômica, a idade, a oclusão e a presença de aparelhos ortodônticos. Portanto, um material ou um planejamento suficiente para suportar as forças oclusais dos incisivos de uma criança, podem não ser suficientes para o primeiro molar de um adulto portador de maloclusão ou pântico⁸.

Quando uma carga é aplicada a um dente, ela é transmitida através do material, ocasionando tensões e deformações. Se essas tensões e deformações excederem o valor máximo que o material pode resistir, provavelmente o resultado será uma fratura¹¹.

Quando uma força externa atua em um corpo sólido, uma reação oposta a esta força ocorre, sendo de igual magnitude, mas de direção oposta. A força aplicada dividida pela área em que esta força atua no corpo equivale ao valor da tensão produzida na estrutura. Sempre que uma tensão estiver presente, uma deformação será induzida¹².

O estudo das propriedades mecânicas implica o exame das relações entre um corpo, constituído de determinado material, e as forças que atuam sobre o mesmo, assim como as consequências dessas relações. Diferentes materiais respondem diferentemente à aplicação dessas forças. A descrição das propriedades mecânicas dos materiais está baseada nas propriedades de tensão e deformação¹¹.

Van Noort¹³ descreve a resiliência como a quantidade de energia que um material pode absorver sem sofrer qualquer deformação permanente e a quantidade total de energia que um material pode absorver antes de sofrer fratura é uma medida de tenacidade do material.

Segundo Souza et al.¹⁴, vários estudos têm sido realizados no intuito de avaliar as propriedades físicas das resinas compostas, principalmente no que diz respeito aos ensaios mecânicos de resistência à flexão, por serem uma medição de todos os tipos de tensões (compressão, cisalhamento e tração) agindo simultaneamente, as quais são comumente

encontradas nas próteses fixas, devido à natureza dinâmica das tensões existentes na mastigação, daí a aplicabilidade clínica deste tipo de ensaio.

Uma das grandes preocupações da Odontologia, principalmente a Restauradora, é poder encontrar um material que, além de restabelecer a função perdida do elemento dentário, tenha boa resistência à tração, determine forte adaptação marginal e seja biocompatível, além de reproduzir de forma mais natural possível a cor dos dentes e com o máximo de preservação da estrutura dentária sadia¹⁵.

Sabe-se que não somente um alto valor de resistência flexional é desejado em materiais restauradores, mas também um alto módulo de elasticidade (alta rigidez), uma vez que a deficiência nesta rigidez acarretaria a flexão da estrutura promovendo uma fratura no material mesmo este tendo um valor elevado de resistência à flexão¹⁶.

O conhecimento das relações entre as propriedades dos materiais restauradores conhecidos por exibir um desempenho de sobrevivência em longo prazo é reforçado pela experiência clínica¹².

Embora as propriedades mecânicas definam a função e a durabilidade de um material, quando se pensa em aspectos visuais ou estéticos, a reprodução de características naturais das estruturas dentárias depende diretamente das propriedades ópticas.

ENSAIOS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DAS RESINAS COMPOSTAS

Testes ou ensaios mecânicos avaliam as diversas propriedades dos materiais dentários restauradores. Dentre eles tem-se: resistência à compressão, ao cisalhamento, à fadiga, de união, torção e deflexão. A escolha do tipo de teste deve estar balizada na utilização clínica do material. Então, muitas vezes a escolha inadequada destes testes, pode resultar em um resultado inconsistente.

Ensaio mecânicos têm sido frequentemente utilizados para a avaliação de compósitos restauradores fotoativados, particularmente, como medida indireta do grau de conversão. Dentre eles, o ensaio de resistência à flexão tem se destacado, uma vez que é fortemente correlacionado com a tenacidade à fratura e, conseqüentemente, com o desempenho clínico e a longevidade destes materiais¹⁰.

Ensaio de compressão consiste em realizar estresses verticais sobre os compósitos, com o objetivo de simular as forças transmitidas às restaurações durante o ato mastigatório, que podem fraturar o material restaurador e/ou o elemento dental². A resistência à compressão é mais útil para comparar os materiais friáveis e geralmente fracos em tração e é especialmente importante no processo de mastigação. O espécime confeccionado não deve ser muito longo para que não ocorra deformação, sendo assim, deve ter um comprimento de duas vezes o diâmetro para que os resultados estejam de acordo com as características do material². Segundo Reis et al.³, a resistência à compressão é uma importante propriedade a considerar na escolha de um material restaurador. Testes laboratoriais que avaliam essa propriedade, apesar de não reproduzirem fielmente os mecanismos de falhas encontrados em condições clínicas, são importantes para o conhecimento inicial da resistência à compressão dos compósitos, fornecendo informações e explicações significativas para os profissionais durante a comparação dos materiais odontológicos, auxiliando no planejamento e na execução de testes mais complexos. Os mesmos autores avaliaram a resistência à compressão de resinas compostas que foram submetidas ao método de envelhecimento artificial e, diante dos resultados, concluíram que, embora algumas resinas compostas sejam classificadas da mesma maneira quanto ao tamanho de partículas, apresentaram comportamento distinto quanto à resistência à compressão, indicando uma maior relação de suas propriedades com o tipo de matriz orgânica, volume em peso, tipo, distribuição e interação das partículas, do que com o formato dessas para a manutenção da estabilidade. Assim, o conhecimento da composição do material torna-se uma peça chave para estimar o seu comportamento mecânico.

A propriedade de dureza é muito importante na comparação entre materiais restauradores, por estar numa relação direta com diversas outras propriedades e ser também uma forma de avaliar a capacidade de os aparelhos fotopolimerizadores converterem monômeros em polímeros. A microdureza de um compósito tem sido utilizada para demonstrar a existência de correlação com o grau de conversão dos monômeros, estimando que a menor dureza de um compósito pode indicar um menor grau de conversão. Consequentemente, restaurações confeccionadas com resinas compostas que apresentem menor microdureza são supostamente menos resistentes aos esforços mastigatórios e passíveis de menor longevidade clínica¹⁷.

Os ensaios de microdureza visam expressar a resistência à deformação permanente dos compósitos, sendo essa grandeza diretamente proporcional à resistência mecânica e à resistência ao desgaste dos mesmos².

Durante a polimerização ocorre a conversão de moléculas de monômeros que se unem formando uma rede de polímeros. Conforme a rede vai se formando, as moléculas vão se aproximando para que ocorram novas ligações. Essa aproximação das moléculas provoca uma contração volumétrica. Por isso, métodos têm sido desenvolvidos para medir as tensões provenientes da contração dos compósitos e, embora esse assunto tenha sido bastante estudado ao longo dos anos, este tipo de estudo ainda apresenta dificuldades de execução pela sua complexidade¹.

O módulo de elasticidade de um material representa a rigidez dentro de uma faixa elástica. As qualidades elásticas de um material representam uma propriedade fundamental, uma vez que durante o ato mastigatório, esta propriedade é requerida inúmeras vezes.

Santos et al.¹⁸ realizaram estudo experimental em que foi relacionada a dimensão dos corpos de prova com a resistência flexional. Estes citam que o ensaio de resistência flexional é fortemente correlacionado com a tenacidade à fratura e, conseqüentemente, com o desempenho clínico e a longevidade dos materiais restauradores. Os autores afirmaram que os dois materiais restauradores utilizados no estudo: um nanoparticulado e outro micro-híbrido possuem a mesma composição monomérica e conteúdo de carga, porém, diferentes tamanhos de partículas. Este estudo demonstrou não haver influência deste último fator na resistência à flexão dos compósitos estudados.

Dentro das diversas características físicas das resinas compostas, a lisura superficial é fator primordial para seu sucesso clínico, pois uma superfície rugosa pode resultar em restaurações com alterações de cor e de brilho. A lisura superficial depende fundamentalmente da composição do material. A introdução de partículas de tamanho nanométrico nos compósitos híbridos tem permitido combinar características mecânicas com um procedimento mais fácil de polimento, resultando em uma menor rugosidade superficial⁴. Além da composição, a correta manipulação e inserção, combinadas com um correto polimento, influenciam diretamente na rugosidade superficial do material.

A avaliação da rugosidade superficial através de um aparelho chamado de rugosímetro é frequentemente utilizada. Nos estudos de Alves et al.⁷ e Leite et al.⁴ este parâmetro foi importante para mensurar a qualidade dos métodos de polimentos de resinas compostas diretas. Segundo Alves et al.⁷, a rugosidade de superfície dos materiais dentários, seja as resinas compostas ou as cerâmicas, pode ser avaliada em alguns equipamentos, tais como o

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), o rugosímetro e o Microscópio de Força Atômica (MFA). O rugosímetro estabelecerá dados quantitativos da superfície da resina composta antes e após os métodos, já as imagens obtidas pelo MEV ou MFA proporcionarão uma leitura qualitativa das mesmas superfícies analisadas. A associação dos métodos analíticos, quantitativo e qualitativo permitem ao pesquisador uma análise e uma interpretação mais completa dos resultados de um estudo *in vitro*, podendo contribuir sensivelmente para a indicação do uso clínico desses materiais. Estes autores alertam para o fato de que é importante observar que os maiores valores de rugosidade entre 0,7 e 1,44 μm , podem facilitar o acúmulo de biofilme e contribuir para a instalação da doença periodontal. Se o valor de rugosidade exceder 0,2 μm haverá adesão de bactérias; e, se exceder 0,5 μm será clinicamente detectável pelo paciente.

Frequentemente empregam-se várias propriedades combinadas, determinadas por testes clínicos e laboratoriais padronizados, a fim de fornecerem uma medida de qualidade. As informações obtidas das pesquisas laboratoriais metódicas podem auxiliar bastante na avaliação clínica de um produto, ou uma técnica em particular, ao diminuir o tempo necessário para a obtenção dos resultados clínicos. Há momentos em que não é possível desenvolver um teste que seja idêntico às condições clínicas, devido à natureza do material ou do equipamento envolvido⁸.

As forças aplicadas isoladamente podem ser axiais (tração ou compressão), de cisalhamento, de deflexão ou torção. A compressão resulta quando um corpo é sujeito a dois grupos de forças direcionadas uma contra a outra na mesma linha reta, e o cisalhamento é resultado de dois grupos de forças direcionadas paralelamente uma à outra em pontos diferentes. A torção resulta da rotação das extremidades de um corpo em sentidos contrários e a deflexão resulta da aplicação de um momento de deflexão. Quando a tração é aplicada, as moléculas que constituem o corpo devem resistir ao serem separadas. Quando a compressão é aplicada, elas resistem ao serem forçadas a uma maior aproximação. Como resultado da aplicação de uma tensão de cisalhamento, uma porção do corpo deve resistir ao deslizamento com outra porção. Estas resistências do material à deformação representam as qualidades básicas de elasticidade de corpos sólidos¹¹.

Embora as propriedades mecânicas não representem necessariamente o seu real desempenho clínico, elas são usadas para orientar os efeitos das mudanças na composição ou processamento sobre essas propriedades em um material¹⁹.

Tabela 1: Resumo dos testes aplicados para verificar as propriedades físicas relevantes, equipamentos e objetivos.

Teste	Equipamento	Objetivo
Resistência à compressão	Máquina de ensaio universal	Avaliar a resistência do material ao ser comprimido
Resistência flexional	Máquina de ensaio universal	Avaliar a resistência máxima ao dobramento
Contração volumétrica	Máquina de ensaio universal	Mensurar a redução de volume do material durante a polimerização
Módulo de elasticidade	Máquina de ensaio universal	Avaliação da rigidez de um material
Microdureza	Microdurômetro	Avaliar a resistência superficial
Rugosidade Superficial	Rugosímetro/ MEV/ MFA	Avaliar a superfície/ polimento

CONCLUSÃO

Diante desta revisão de literatura pode-se evidenciar que, os testes mais frequentemente utilizados para avaliação das propriedades físicas das resinas compostas são: resistência à compressão, resistência flexional, contração volumétrica, módulo de elasticidade, microdureza e rugosidade superficial.

Ainda assim, vale ressaltar que não é possível realizar uma correlação direta dos resultados *in vitro* com a aplicabilidade clínica.

RELEVANT PHYSICAL PROPERTIES TO THE STUDY OF COMPOSITE RESINS

ABSTRACT

The constant evolution undergone by dental materials occur as a result of the search for so-called "ideal material". The development of a non ends at the completion of the formulation by the manufacturer, but after it has been subjected to various conditions simulating their future clinical applicability. It is important to identify a material that provides properties similar to tooth structures that will be replaced and promotes longevity to the restorative procedure. This study aimed to review the literature on the tests used to evaluate physical properties of composites. Tests such as abrasion, polishing, roughness, shrinkage and various strength tests are indispensable to the study of dental materials and these, together, suggest its clinical efficiency. A major difficulty in testing or testing in general is the development of a methodology to be able to spread the reliability of the study and to allow its reproduction. The choice of material or even a technique associated with it, can be facilitated by the disclosure of the properties necessary for it to be compatible physical, biological and aesthetically and, primarily, to facilitate their application in daily practice. Given this review of the literature the most frequently used tests for evaluating physical properties are flexional strength, fracture toughness, compressive strength, hardness and surface roughness. Importantly, it is not possible to directly correlate the in vitro results with clinical applicability.

Keywords: Physical properties, Composite resins, Essays.

REFERÊNCIAS

1. Gonzales MR, Fernandes PM, Suarez AVG, Sampaio HR. Avaliação da tensão de contração durante a polimerização de uma resina em função da área aderida. *Rev Bras Odontol* 2012; 69(1): 21-4.
2. Barcellos DC, Borges AB, Batista GR, Gonçalves SEP, Pucci CR, Borges ALS. Avaliação da microdureza e da resistência à compressão de diferentes compósitos resinosos indiretos. *Braz Dent Sci* 2011; 14(3/4): 32-7.
3. Reis AC, Tornavoi DC, Ribeiro RR, Agnelli JAM. Avaliação da resistência à fratura de resinas compostas submetidas ao envelhecimento artificial acelerado. *RFO* 2011; 16(3): 294-300.
4. Leite FPP, Faria JCB, Santos APM, Oliveira JM, Cruz FG, Carvalho RF. Comparação da rugosidade superficial de resinas compostas após polimento imediato e tardio. *HU Rev* 2011; 37(4): 391-6.
5. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955; 34: 849-53.
6. Anesi-Neto A, Souza FHC, Klein-Júnior CA, Pereira CC, Piva F, Cardoso J. Avaliação da resistência à compressão de duas resinas compostas em diferentes espessuras submetidas a diferentes tempos e complementação de polimerização 2008; 14(26): 27-38.
7. Alves LMM, Silva IPC, Kunihira TS, Neto OI, Pereira VFGC, Goyatá FR. Rugosidade e microscopia de força atômica de resinas compostas submetidas a diferentes métodos de polimento. Disponível em: www.revistapolimeros.org.br/files/v0n0/polimeros.2013.053.pdf Acessado em 21.04.2013.
8. Craig R, Powers JM. Propriedades mecânicas dos materiais. In: Craig R, Powers JM. *Materiais dentários restauradores*. 11. ed. São Paulo: Santos, 2004.p.69-119.
9. Amoroso AP, Ferreira MB, Torcato LB, Pellizzer EP, Mazaro JVQ, Gennari Filho H. Cerâmicas odontológicas: propriedades, indicações e considerações clínicas. *Rev Odontol Aracatuba* 2012; 33(2): 19-25.
10. Santos SCC, Abi-Rached FO, Almeida-Júnior AA, Cruz CAS. Efeito das dimensões dos corpos de prova na resistência à flexão de compósitos restauradores. *Rev Odontol UNESP*. 2011; 40(2): 64-8.
11. Pires-De-Souza FP. *Manual de Materiais Dentários*. Univ São Paul, 2001.

12. Anusavice KJ. Propriedades Mecânicas dos Materiais Dentários. In: Anusavice KJ. Phillips materiais dentários. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998. p.28-43.
13. Van Noort R. Propriedades Mecânicas. In: Van Noort R. Introdução aos Materiais Dentários. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.55-63.
14. Souza ROA, Mesquita AMM, Pavanelli CA, Nishioka RS, Bottino MA. Avaliação da resistência à flexão de três resinas compostas de uso laboratorial. *Int J Dent* 2005, 4(2): 50-4.
15. Busato ALS, Hernández PA, Macedo RP. Restaurações estéticas indiretas em dentes posteriores. In: Busato ALS. Dentística: restaurações estéticas. 2. ed. São Paulo: Artes Médicas, 2002. p. 613-20.
16. Hirata R. Resistência flexional e módulo de elasticidade de resinas compostas e fibras de vidro e polietileno. Porto Alegre 2002. [Dissertação- Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul].
17. Ribeiro BCI, Boaventura JMC, Gaião U, Saad JRC, Candido MSM. Efeito de fontes de luz na microdureza de resinas compostas. *RGO – Rev Gaúcha Odontol* 2011; 59(2): 229-36.
18. Santos SCC, Abi-Rached FO, Almeida-Junior AA, Cruz CAS. Efeito das dimensões dos corpos de prova na resistência à flexão de compósitos restauradores. *Rev Odontol. UNESP* 2011; 40(2): 64-8.
19. Wang L, D’Alpino PHP, Lopes LG, Pereira JC. Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests, *J Appl Oral Sci* 2003; 11(3):162–7.

MANUSCRITO II

**AVALIAÇÃO DE UMA RESINA COMPOSTA DIRETA COM
POLIMERIZAÇÃO ADICIONAL POR MEIO DO TESTE DE RESISTÊNCIA
FLEXIONAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE**

RESUMO

[Objetivo]: Avaliar a influência da posição e tempo da polimerização adicional em forno de micro-ondas de uma resina composta direta nanoparticulada Z350XT (3M ESPE, Sumaré, São Paulo, Brasil) por meio da resistência à flexão e módulo de elasticidade. **[Metodologia]:** Foram confeccionados 80 corpos de prova. O grupo controle, feito com a resina Z350XT sem a adição de polimerização complementar e o “padrão ouro” feito com a resina laboratorial Sinfony (3M ESPE, Sumaré, São Paulo, Brasil) que foi confeccionado de acordo com instruções do fabricante. Os grupos teste foram divididos aleatoriamente em 7 grupos de 10 amostras sendo: Grupo 1 (G1) controle negativo, grupos 2, 3 e 4 (G2, G3 e G4) e submetidos à polimerização adicional por 5 minutos em forno de micro-ondas posicionados na extremidade, meio e centro do prato refratário, respectivamente, os Grupos 5, 6 e 7 (G5, G6 e G7) foram submetidos a 15 minutos de polimerização adicional em forno de micro-ondas distribuídos no prato refratário nas posições extremidade, meio e centro, respectivamente. O teste de resistência à flexão foi realizado em máquina de ensaio EMIC DL 2000 (EMIC, São Paulo, Brasil). Aplicada a Análise de Variância em esquema Fatorial (2-way ANOVA) e Tukey (significância de 5%). **[Resultados]:** Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os fatores posição x tempo, sendo que no tempo de 15 minutos foram verificados valores maiores da resistência flexional em todas as posições. Em relação ao módulo de elasticidade não foram observadas diferenças entre as posições, porém com valores estatisticamente superiores no tempo de 15 minutos. A adição de um método de polimerização adicional em forno de micro-ondas promoveu uma melhora nas propriedades mecânicas da resina Z350XT.

Palavras-chave: Resistência flexional, Módulo de elasticidade, Resina composta.

INTRODUÇÃO

As primeiras resinas compostas surgiram em meados da década de 60 e, desde sua introdução na Odontologia, avanços significativos têm sido observados no sentido de melhorar suas características físicas e mecânicas. Esta melhoria visa principalmente a sua utilização em áreas sujeitas a cargas mastigatórias elevadas, como nos dentes posteriores¹.

A utilização de compósitos fotopolimerizáveis diretos para a confecção de restaurações indiretas, com o uso de um método de polimerização adicional, favorece a redução de custos, tempo de trabalho e possibilidade de confecção no próprio consultório quando comparado com as restaurações indiretas. Esta alternativa, quando comparado às restaurações diretas, elimina a ocorrência das tensões da contração de polimerização nas paredes do preparo, uma vez que o material é polimerizado fora da boca, além de determinar melhor adaptação, melhor acabamento e polimento das margens da restauração, maior facilidade na confecção de contornos corretos e maior facilidade para a obtenção do ponto de contato⁹. Além de poderem ser reparados mais facilmente.

A procura por procedimentos restauradores estéticos, que devolvam aos dentes seu aspecto natural, promove o desenvolvimento de novas técnicas e materiais. As resinas compostas surgiram para possibilitar melhorias estéticas através de uma melhor reprodução das características naturais dos dentes e podem ter sua ativação iniciada por meio de fontes de luz. Para melhorar suas propriedades mecânicas, uma ampla variedade de cargas tem sido empregada nos compósitos. Essa prática teve início no final da década de 1950, quando cargas como o quartzo foram introduzidas nos materiais restauradores à base de metilmetacrilato. As cargas podem melhorar as propriedades mecânicas tais como a dureza e a resistência à compressão. A evolução da tecnologia das cargas sustenta muitas das melhorias que tem conduzido aos compósitos usados atualmente². Porém, o uso somente da fotopolimerização, converte cerca de 60-65% de monômeros em polímeros segundo Hirata⁵.

A utilização de métodos para promover a polimerização complementar, melhora significativamente a capacidade do polimento e sua manutenção, uma vez que aumenta o grau de conversão dos monômeros não polimerizados pela fotopolimerização apenas⁵.

Arossi et al.³ relatam que a polimerização complementar por calor é um método que proporciona aumento do grau de conversão dos compósitos restauradores. Diferentes métodos já foram sugeridos, como calor seco ou autoclavagem. Na confecção de restaurações indiretas com resinas compostas, o tratamento térmico realizado em até 6 horas após a polimerização por luz, aumenta a conversão monomérica do material. Esse aumento não seria possível quando utilizada somente a fotopolimerização.

A polimerização adicional em forno de micro-ondas mostra-se como um método viável a ser executado facilmente pelo Cirurgião Dentista, porém com algumas peculiaridades. Oliveira et al.⁴ realizaram um experimento de polimerização em forno de micro-ondas e concluíram que a posição das muflas no forno de micro-ondas interfere na polimerização das resinas acrílicas quanto à liberação de monômero, porém não altera a porosidade superficial e a dureza de superfície desse material. Diante disso deve-se levar em conta que o forno de micro-ondas não promove uma uniforme distribuição de calor como evidenciado no trabalho de Rosini et al.⁸ em que se constatou que o centro do prato refratário recebe uma maior incidência de calor.

O objetivo desse estudo foi avaliar a resistência à flexão e o módulo de elasticidade de uma resina composta fotopolimerizável de uso direto, submetida a um método de polimerização adicional em forno de micro-ondas com variação de tempo e posição.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais

Para a realização deste estudo foi utilizada uma resina laboratorial (Sinfony– 3M ESPE, Sumaré, São Paulo, Brasil) e uma resina composta nanoparticulada Z350 XT (3M ESPE, Sumaré, São Paulo, Brasil).

Tabela 1: Materiais utilizados neste estudo, fabricante, composição e lote (conforme descrito pelo fabricante).

MATERIAL	FABRICANTE	COMPOSIÇÃO	LOTE
RESTAURADOR DE USO LABORATORIAL (SINFONY COR DB2)	3M ESPE (SUMARÉ, SÃO PAULO, BRASIL)	Pó de vidro silanizado, filler de ionômero de vidro, sílica, dimetacrilato uretano, diacrilato, dimetacrilato, sílica silanizada, amina aromática substituída, canforoquinona, óxido de fosfina, benzofenona, fenol substituído, aminobenzaldeído.	190428
RESTAURADOR UNIVERSAL DE USO DIRETO (FILTEC Z350XT COR A3D)	3M ESPE (SUMARÉ, SÃO PAULO, BRASIL)	Cerâmica tratada com silano, bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato (BIS-GMA), bisfenol A polietileno glicol diéter dimetacrilato (BIS-EMA), sílica tratada com silano, sílica-óxido de zircônia tratado com silano, diuretano dimetacrilato, dimetacrilato polietilenoglicol, dimetacrilato de trietileno glicol (TEG-DMA), 2,6-di-ter-butil-p-cresol (BHT) e pigmentos.	1201200398

Da obtenção dos corpos de prova

Foram confeccionados 80 corpos de prova com formato de barra, sendo 10 bastões da resina laboratorial e 70 da resina composta direta, em matrizes de aço bipartidas (Figura 1) isoladas com vaselina sólida branca (Rioquímica, São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil) com

dimensões de 25 mm de comprimento, 2 mm de largura e 2 mm de espessura conforme a determinação 4049 da ISO.



Figura 1: Matriz de aço bipartida.

A resina Z350XT cor A3D foi inserida na matriz de aço em um único incremento utilizando uma espátula para compósitos (Trinity Indústria e Comércio LTDA, São Paulo, São Paulo, Brasil) na matriz de aço, até seu completo preenchimento (Figura 2). Para garantir a lisura superficial, a matriz foi interposta a duas lâminas de vidro para microscopia (Perfecta Ind. e Com. de lâminas de vidro Ltda., Ibitinga, São Paulo, Brasil) e uma tira de poliéster (Microdont, São Paulo, São Paulo, Brasil), para cada lado da matriz, através das quais a resina foi fotopolimerizada com o aparelho fotopolimerizador Optilight LD MAX (Gnatus, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil – Figura 3) com comprimento de onda de 440/460 nm e densidade de potência na faixa de 600 w/cm².

Para garantir sua efetividade de polimerização, sua potência de radiação foi medida por um radiômetro para fotopolimerizadores LD Max (Gnatus, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil), com valor de 560 mW/cm². A fotopolimerização foi feita durante 30 segundos no centro e nas duas extremidades na porção superior e inferior, totalizando 3 minutos de ativação. A tira de poliéster foi substituída a cada 5 bastões, para não haver alteração na translucidez e com isso, interferir na polimerização.

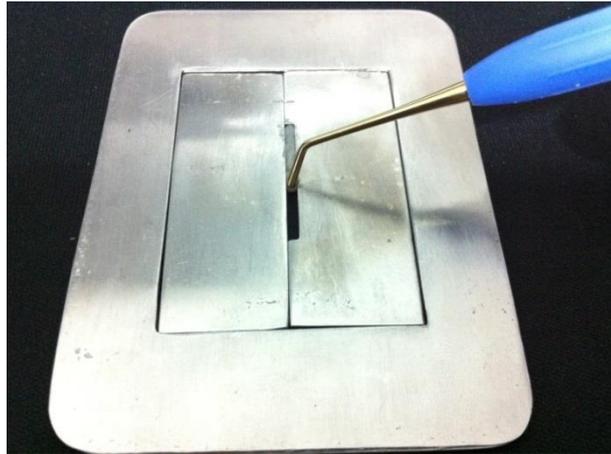
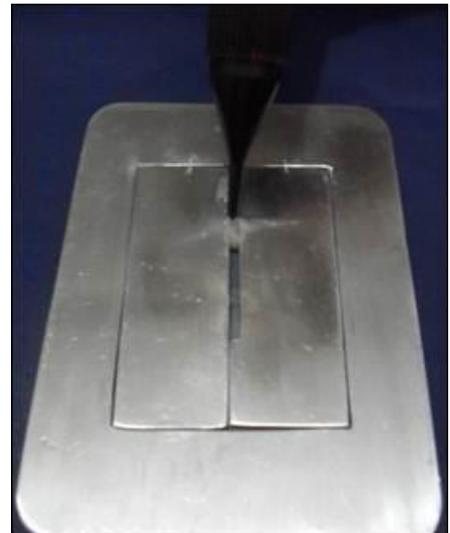


Figura 2: Inserção da resina Z350XT na matriz metálica.



**Figura 3: Aparelho Fotopolimerizador Gnatus
Optilight LD MAX**



**Figura 4: Inserção da resina
laboratorial na matriz metálica**

A resina laboratorial foi inserida na matriz com o dispositivo próprio do sistema (Figura 4) e acomodada com uma espátula para compósitos na matriz de aço, que foi adaptada com duas lâminas de vidro interposta por duas tiras de poliéster, através das quais a resina foi fotopolimerizada inicialmente pela unidade *Visio™ Alfa* (3M ESPE, Alemanha – Figura 5) que consiste em um equipamento de pré-polimerização para aplicação das camadas de resina indireta Sinfony. A polimerização foi realizada durante 5 segundos em cada extremidade e no centro do corpo de prova, na porção superior, da mesma forma na porção inferior, totalizando 30 seg. em cada corpo de prova. Semelhante à resina direta, a matriz de poliéster foi substituída a cada 5 bastões. Em seguida, todos os corpos de prova foram inseridos na cuba da

unidade *Visio™ Beta vario* (3M ESPE, Alemanha – Figura 6) equipamento de polimerização final à vácuo, onde a polimerização foi feita por 1 minuto sem vácuo e 14 minutos com vácuo, totalizando 15 min. Este equipamento assegura uma maior conversão dos monômeros em polímeros, eliminando completamente a camada de dispersão.



Figura 5: Aparelho Visio Alfa™



Figura 6: Corpos de prova inseridos no equipamento Beta Vario™

Do acabamento e armazenamento das amostras

Para fins de acabamento, os corpos de prova foram lixados manualmente utilizando lixas d'água de granulação fina (nº 600) estiradas sobre uma bancada e lubrificadas com água. Para a aferição da dimensão final dos corpos de prova utilizou-se um paquímetro digital (Modelo 5059-Jomarca, Guarulhos, São Paulo, Brasil). Após o acabamento, as amostras foram armazenadas em recipiente plástico (Indústrias SM, São Paulo, São Paulo, Brasil – Figura 7) envolvido com papel adesivo CON-TACT preto (VULCAN, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil). A umidade dentro da caixa que continha este recipiente durante o armazenamento, foi de 100% sendo promovida por um algodão embebido em água. As amostras foram retiradas apenas para a sua pós-polimerização e para a realização do ensaio, de modo a não sofrer ação da luz.

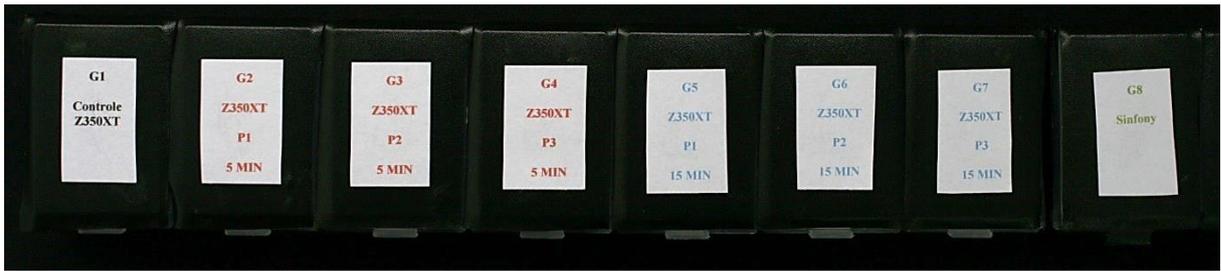


Figura 7: Recipiente plástico utilizado para armazenamento das amostras.

Polimerização adicional

A polimerização adicional foi realizada em forno de micro-ondas caseiro Facilite (Consul, Joinville, Santa Catarina, Brasil) com tempos de 5 minutos e 15 minutos em potência máxima (1800 w). Antes de cada ciclo foi aferida a temperatura inicial dentro do forno com termômetro digital modelo THGTSC1(G-Tech, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil) e caso esta fosse semelhante à temperatura ambiente o procedimento era iniciado. O prato refratário possuía 26 cm de diâmetro e foi dividido em três áreas com 4,33 cm de largura. Desta forma, determinou-se a distribuição dos espécimes em três posições sendo: posição 1 (P1) na região mais externa do prato, posição 2 (P2) no meio e posição 3 (P3) no centro do prato (Figura 8).



Figura 8: Distribuição dos espécimes no prato refratário

Os corpos de prova foram divididos em 8 grupos de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 2: Distribuição dos grupos de acordo com o material, os tempos de pós-polimerização e as posições.

GRUPO	MATERIAL	MÉTODO DE POS POLIMERIZAÇÃO
G1	Resina Z350XT (3M ESPE)	Não submetido (Controle Negativo)
G2	Resina Z350XT (3M ESPE)	P1 por 5 minutos*
G3	Resina Z350XT (3M ESPE)	P2 por 5 minutos*
G4	Resina Z350XT (3M ESPE)	P3 por 5 minutos*
G5	Resina Z350XT (3M ESPE)	P1 por 15 minutos*
G6	Resina Z350XT (3M ESPE)	P2 por 15 minutos*
G7	Resina Z350XT (3M ESPE)	P3 por 15 minutos*
G8	Sinfony (3M ESPE)	Padrão Ouro

* em potência máxima (1.800 Watts) em forno de micro-ondas caseiro

Teste de resistência flexional

O ensaio mecânico para registro da resistência flexional foi realizado através de um teste de carga de três pontos (Figura 9) seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma ISO (International Organization for Standardization) n° 4049 em máquina de ensaio universal (EMIC DL2000®), calibrada com célula de carga de 2000N, velocidade de 0,5mm/min. e com inclinação de 90° (Figura 10).

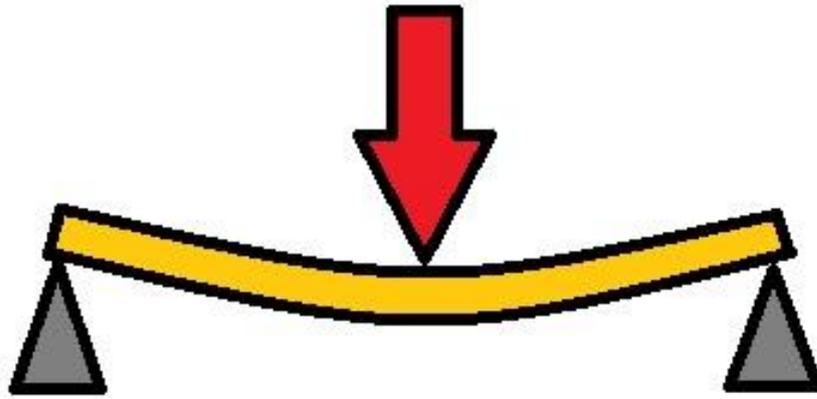


Figura 9: Esquema do teste de três pontos ou resistência à flexão.



Figura 10: Máquina de ensaio universal (EMIC DL2000®).

Foi confeccionada uma base metálica em aço temperado contendo duas varetas suspensas com 2,0 mm de diâmetro, dispostas paralelamente entre si e distantes entre centros 20 mm, onde foram apoiados os espécimes. Outro artefato foi fabricado para ser rosqueado à célula de carga, da mesma forma em aço temperado e contendo também uma vareta com 2,0 mm de diâmetro. Durante os testes de compressão essa vareta foi posicionada no centro do espécime,

paralelamente e equidistante das outras duas varetas localizadas na base metálica onde o corpo de prova estava apoiado (Figuras 11 e 12).

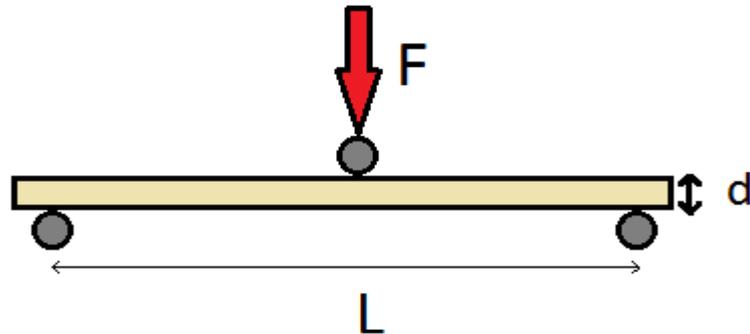


Figura 11: Ilustração do teste de carga de três pontos e medidas das hastes e distância do vão estabelecidos pela norma ISO 4049.

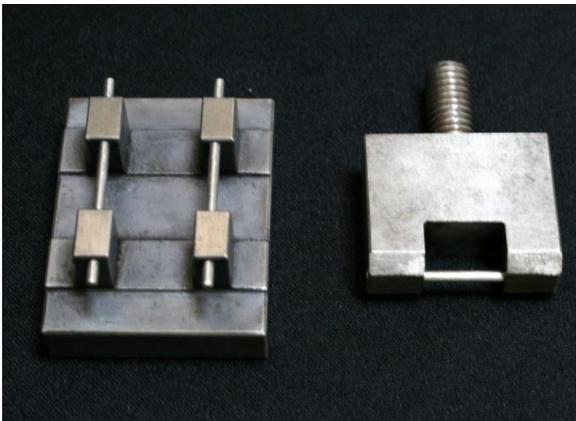


Figura 12: Artefato metálico confeccionado para o teste.

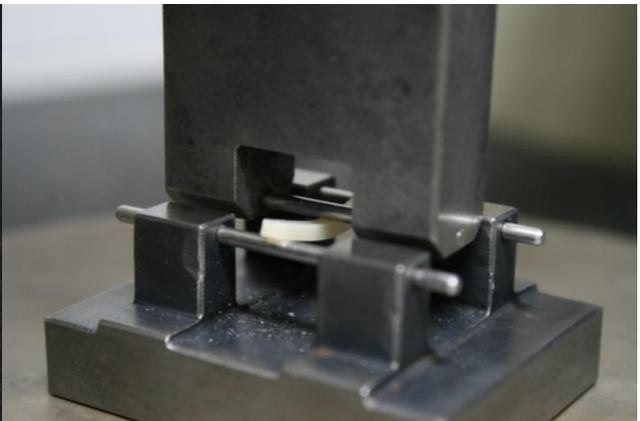


Figura 13: Ensaio de flexão através do teste de carga de três pontos.

Cálculo da resistência flexional

A resistência flexional é definida como a resistência máxima de um material ao dobramento antes que ocorra a falha¹⁵.

Os valores, em Megapascal (MPa), da resistência flexional (\ddot{a}) foram obtidos utilizando a seguinte fórmula:

$\ddot{a} = 3Fl / 2bh^2$; onde F é a carga máxima em Newton; l é a distância entre os suportes, isto é, 20 mm; b é a largura dos espécimes; e h é altura dos espécimes.

Para se obter o valor da carga máxima em Newton, suportado por cada corpo de prova, multiplicou-se o valor em kgf registrado pela máquina EMIC DL2000® pelo valor aproximado da força de gravidade, ou seja, 9,807.

Cálculo do módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade descreve a relativa rigidez ou dureza de um material que é a medida da redução da região elástica no diagrama de tensão/deformação (Figura 14).

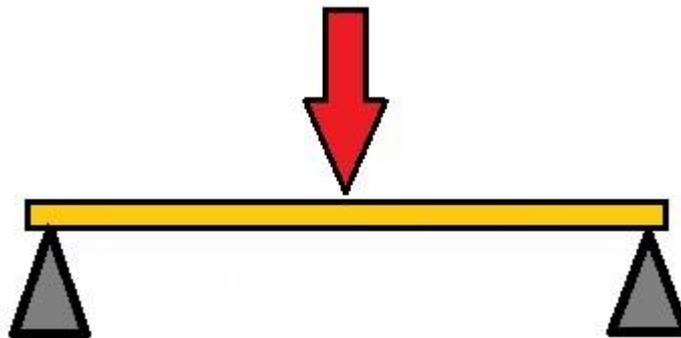


Figura 14: Esquema do módulo de elasticidade.

Os valores do módulo de elasticidade (\hat{a}), em MPa, foram calculados pela seguinte fórmula:

$\hat{a} = 13 \times FI / 4fbh^3$; onde l é a distância entre os suportes, isto é, 20 mm; b é a largura dos espécimes; e h é altura dos espécimes; FI é a carga, em Newton, registrada em qualquer ponto do gráfico enquanto a deformação ainda é elástica; e f é a deflexão do espécime em milímetros quando registrada a força FI .

Os valores de Fl e f foram extraídos dos gráficos relativos aos ensaios dos espécimes de cada grupo. Elegeu-se um ponto em cada gráfico onde a deformação do espécime ainda era elástica, isto é, a deformação ainda não era permanente, e verificou-se o valor de carga referente.

Análise estatística

O delineamento do estudo foi construído de acordo com os seguintes fatores: posição em três níveis (extremidade, meio, centro), tempo em dois níveis (5 minutos e 15 minutos) e controles Z350XT (sem polimerização adicional) e Sinfony. Unidade experimental: corpo de prova em resina composta e variável de resposta: resistência flexional e módulo de elasticidade.

Inicialmente foi realizada a análise exploratória dos dados para verificar a homogeneidade das variâncias e para determinar se os erros experimentais apresentavam distribuição normal (parâmetros da Análise de Variância). A análise estatística inferencial do delineamento fatorial “posição x tempo” foi feita por meio da Análise de Variância (Anova) a 2-critérios e teste de Tukey para comparações múltiplas; a comparação entre os grupos experimentais com os controles foi feita pela Anova/Dunnett. Estas análises foram feitas no programa estatístico SAS, versão 9.1, com nível de significância de 5%.

RESULTADOS

As tabelas 1 e 2 apresentam a média e desvio-padrão da resistência flexional e do módulo de elasticidade obtidos nos grupos experimentais, respectivamente. A análise estatística dos dados de resistência flexional não demonstrou significância da interação estatística entre os fatores principais (posição x tempo), portanto os mesmos foram analisados separadamente ($p=0,49$). A interação estatística foi desdobrada pelo teste de Tukey (Tabela 1). De acordo com os resultados, não foram verificadas diferenças entre as posições, independentemente do tempo estudado ($p=0,72$). Entretanto, diferenças entre os tempos foram verificadas ($p=0,0031$); sendo os maiores valores encontrados no tempo 15 minutos, em todas as posições.

Diferenças estatisticamente significativas entre a resistência flexional dos grupos experimentais e os controles foram notadas ($p<0,0001$). Os grupos extremidade e meio em 15 minutos apresentaram médias estatisticamente mais altas que o grupo Controle Negativo Z350

XT, enquanto que os demais grupos apresentaram valores semelhantes; e todos os grupos experimentais apresentaram médias superiores à do grupo Sinfony.

Tabela 3. Média (Desvio padrão) da resistência flexional nos grupos experimentais.

Posição	Tempo	
	5 minutos	15 minutos
Extremidade	102.29 (17,42) Ab #	115.91 (17,74) Aa * #
Meio	96.48 (11,56) Ab #	114.56 (12,13) Aa * #
Centro	104.21 (11,54) Ab #	110.13 (15,58) Aa #
Controle Z350	92,37 (11.98)*	
Sinfony	57.78 (3.59)#	

Letras maiúsculas = Posições (linhas)

Letras minúsculas = Tempo (colunas)

Os dados do módulo de elasticidade também não resultaram em interação estatisticamente significativa entre os fatores principais ($p=0,77$). Diferenças significativas não foram observadas entre os níveis do fator posição ($p=0,05$). Porém, foram notadas diferenças entre os tempos, independentemente das posições ($p=0,01$), sendo os valores encontrados no tempo 15 minutos estatisticamente superiores aos do tempo 5 minutos (Tabela 2).

Em relação ao módulo de elasticidade dos grupos controles, verifica-se que nenhum grupo experimental apresentou valor estatisticamente diferente do controle Z350XT; entretanto, todas as médias foram estatisticamente superiores às do grupo Sinfony ($p<0,0001$).

Tabela 4. Média (desvio-padrão) do módulo de elasticidade nos grupos experimentais.

Posição	Tempo	
	5 minutos	15 minutos
Extremidade	3.15 (0.68) Ab #	4.08 (1.42) Aa #
Meio	2.66 (0.57) Ab #	3.39 (0.81) Aa #
Centro	3.18 (0.83) Ab #	4.36 (0.97) Aa #
Controle Z350	3.39 (0.81) *	
Sinfony	1.25 (0.15) #	

Letras maiúsculas = Posições (linhas)

Letras minúsculas = Tempo (colunas)

DISCUSSÃO

Para iniciar a fotopolimerização da resina composta é necessário que haja uma fonte de energia capaz de ativar o iniciador fotossensível, normalmente a canforoquinona. A canforoquinona absorve energia num espectro de luz visível azul, entre 400 a 500nm, com o pico do comprimento de onda ideal em 468nm. A energia (fótons) é absorvida pela molécula, a qual passará para o estado excitado ou tríplice. Para acelerar esta reação de polimerização, uma quantidade razoável de amina é adicionada à mistura. Enquanto a canforoquinona permanece no estado excitado, esta colide com a amina, ocorrendo a transferência de elétron, resultando na formação de um radical livre. Este radical livre é uma molécula extremamente reativa, com um elétron livre na região externa, procurando desesperadamente formar uma ligação covalente. Este radical livre reagirá com o monômero, possuidor de uma ligação dupla de carbono (C=C), que inicia a reação. Desta forma se inicia a reação em cadeia, na qual a ligação dupla de carbono, reagida com o radical, passa a ter um elétron livre à procura de outra ligação dupla para reagir. A reação de polimerização só termina quando dois radicais complexos colidem. Se o oxigênio estiver presente, os radicais livres preferencialmente reagirão com ele, formando um radical de peróxido, pouco reativo, gerando a inibição da polimerização¹¹.

A durabilidade de restaurações estéticas em resina é diretamente influenciada pela polimerização do material. Uma polimerização inadequada constitui uma das principais causas para o insucesso clínico destes materiais, prejudicando suas propriedades físicas, mecânicas e biológicas. Com o objetivo de melhorar estas propriedades, alguns sistemas de resinas compostas diretas são baseados na ativação de luz seguida por uma cura complementar em equipamentos laboratoriais, unidades de aquecimento ou a combinação de ambos, este processo denomina-se de polimerização complementar ou pós-polimerização. O aumento de calor melhora as propriedades mecânicas dos compósitos curados, melhorando o grau de conversão e conseqüente redução dos monômeros que não reagiram¹².

Kildal e Ruyter¹³ em um estudo comparativo de dois métodos de polimerização, não encontraram diferenças significativas entre a polimerização direta com aparelhos fotopolimerizadores e pós-polimerização em fornos laboratoriais.

Os resultados deste estudo mostram um aumento significativo dos valores da resistência flexional após a polimerização complementar realizada em forno de micro-ondas. Além disso,

a incidência da radiação durante 15 minutos conferiu ao material um aumento significativo nesta propriedade em relação ao tempo de 5 minutos. Isto contraria o estudo de Roberto et al.¹⁴, que afirmaram que a pós-polimerização em três diferentes ciclos de micro-ondas, com tempo e potência variados não aumenta de forma estatisticamente significante a conversão de monômeros em polímeros.

Carvalho¹⁵ realizou experimento com três métodos de polimerização adicionais diferentes: Box, autoclave e forno de micro-ondas. Resultados estatisticamente superiores foram encontrados nos espécimes que sofreram polimerização complementar através do forno de micro-ondas, porém a autora relatou a não uniformidade na distribuição dos corpos de prova no prato do forno de micro-ondas e os que ficaram na extremidade do prato apresentaram valores inferiores aos demais, pois sofreram uma redução na quantidade de calor transmitida. Esta redução segundo o autor pode ser explicada pelo fato do forno de micro-ondas doméstico não apresentar uma distribuição uniforme da radiação como demonstrado nos experimentos de Rossini⁸ que comprovam uma maior incidência da radiação no centro do prato refratário.

Os valores encontrados neste estudo entre os grupos de posições diferentes, mas com o mesmo tempo (5 ou 15 minutos) não apresentaram diferenças significativas o que indica que a posição que os espécimes ocupam no prato refratário, não interfere no resultado final. Este achado contraria os estudos de Oliveira et al.⁴ que constataram que a posição dentro do forno de micro-ondas interfere na polimerização.

Galafassi¹⁶ avaliou três métodos de polimerização adicional e concluiu que o forno de micro-ondas mostrou-se como método inferior à polimerização adicional em autoclave, porém nenhum dos métodos promoveu uma melhora dos valores da resistência flexional quando comparados ao grupo controle (sem polimerização adicional).

De acordo com a norma 4049 da ISO (Internacional Organization Standardization)¹⁹, as resinas compostas indiretas devem apresentar um valor mínimo para a resistência flexional de 100 Mpa independente do método de polimerização, a fim de serem adequadas para tais restaurações. Os valores obtidos com a polimerização adicional em forno de micro-ondas da resina Z350XT excederam este parâmetro apesar de o grupo controle se mostrar inferior a este.

Os valores encontrados através da resistência flexional do material selecionado como “padrão ouro” para este estudo encontram-se abaixo dos valores de outros estudos^{15 17 18} além do estudo feito pelo fabricante⁶.

A justificativa para esta diferença seria a variedade de lotes e diferença de equipamentos. O grau de conversão é um dos parâmetros críticos que podem influenciar as propriedades físicas de uma resina composta e, portanto, o comportamento clínico de restaurações realizadas com este material¹⁷. O estudo desta propriedade, associado aos ensaios deste trabalho, sustentariam (ou não) a hipótese da eficiência do método de polimerização adicional em forno de micro-ondas.

O módulo de elasticidade combina as tensões encontradas na compressão e tensão. É uma medida da rigidez do material. Sendo assim, quanto maior o módulo, mais rígido o material¹⁵. Os valores do módulo de elasticidade da resina composta Z350XT encontrados neste estudo, se assemelham aos apresentados no estudo de Carvalho¹⁵ quando submetida à polimerização complementar em forno de micro-ondas. Entretanto, quando observados os resultados referentes a esta propriedade do restaurador Sinfony, estes diferem significativamente dos apresentados pela autora¹⁵ e também do estudo divulgado pelo fabricante⁶.

É válido ressaltar que Arossi et al.³ evidenciam que a polimerização complementar por calor proporciona aumento do grau de conversão dos compósitos restauradores, resultando em uma maior estabilidade química e de cor além de promover a evaporação de cerca de 1,3% da matriz orgânica levando a uma diminuição da liberação de monômeros livres para o meio. Isto proporciona ao material uma diminuição dos constituintes com propriedades pobres e com maior biocompatibilidade, já que monômeros livres são substâncias ácidas e tóxicas aos tecidos vivos.

CONCLUSÕES

A polimerização adicional em forno de micro-ondas promoveu uma melhora na resistência flexional da resina composta Z350 XT, independente da posição em que esteja no forno.

O tempo de 15 minutos forneceu uma melhora na resistência flexional quando comparado ao tempo de 5 minutos e ao grupo controle.

Não houve melhora nos valores do módulo de elasticidade após a polimerização adicional em forno de micro-ondas.

Outros ensaios como o estudo do grau de conversão seriam importantes para que esta hipótese seja confirmada.

EVALUATION OF A COMPOSITE RESIN DIRECT WITH ADDITIONAL POLYMERIZATION THROUGH THE TEST OF FLEXURAL STRANGTH AND ELASTIC MODULUS

Abstract

[Objective]: To evaluate the influence of the position and time of further polymerization in a microwave oven for a direct composite nanoparticle Z350XT (3M ESPE, Sumaré, São Paulo, Brazil) by flexural strength and modulus of elasticity. **[Methodology]:** 80 were prepared specimens. The control group was made with the resin Z350XT without adding additional polymerization and "gold standard" made with resin laboratory Sinfony (3M ESPE, Sumaré, São Paulo, Brazil) that was made in accordance with manufacturer's instructions. The study groups were randomly divided into 7 groups of 10 samples as follows: Group 1 (G1) negative control, groups 2, 3 and 4 (G2, G3 and G4) and undergoing further polymerization for 5 minutes in microwave oven positioned in the end, middle and center of the refractory plate, respectively Groups 5, 6 and 7 (G5, G6 and G7) were subjected to 15 minutes of further polymerization in a microwave oven distributed on the plate in positions refractory end, middle and center, respectively. The flexural strength test was performed on the testing machine EMIC DL 2000 (EMIC, São Paulo, Brazil). Applied Analysis of Variance in Factorial scheme (2-way ANOVA) and Tukey's test (5% significance). **[Results]:** We found statistically significant differences between factors position vs. time and in time of 15 minutes was recorded higher values of flexural strength at all positions. Regarding the elastic modulus differences no was observed between positions, but with statistically higher in the time of 15 minutes. The addition of an additional polymerization method in a microwave oven promoted an improvement in the mechanical properties of the resin Z350XT.

Keywords: Flexural strength, Elastic modulus, Composite resins.

REFERÊNCIAS

1. Loguercio AD, Reis A, Poskus LT, Busato ALS, Rodrigues Filho LE, Bauer JRO. Avaliação de propriedades mecânicas de diferentes resinas compostas. Rev Bras Odontol 2001; 58(6): 382-5.
2. Van Noort R. Resinas Compostas e Resinas Modificadas por Poliácido. In: Van Noort R. Introdução aos Materiais Dentários. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 116-46.
3. Arossi GA, Ogliari F, Samuel S, Busato ALS. Polimerização complementar em autoclave, microondas e estufa de um compósito restaurador direto. Rev Odonto Ciênc 2007; 22: 177-80.
4. Oliveira VMB, Del Bel Cury AA, Leon BLT, Consani S. Influence of number and position of flasks in the monomer release, knoop hardness and porosity of a microwave-cured acrylic resin. Journal of Oral Rehabilitation 2003, 30(11): 1104-08.
5. Hirata R. Onlays técnica direta/indireta: uma forma de trabalho. In: Baratieri LN. Soluções Clínicas – Fundamentos e Técnicas. Editora Ponto, 2008. 295-309
6. Sinfony: Indirect composite – Scientific Product Profile [Perfil técnico]. Disponível em:
http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UF6EVsSyXTtm8T_NxTaEVtQEVs6EVs6EVs6E666666--&fn=sinfony_tp_pt.pdf
7. Filtek Z350 XT Resina composta universal [Perfil técnico]. Disponível em:
http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSufSevTsZxtUO8_BMxmxeVUqevTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=TPP%20FiltekZ350XT_PTLow_OK.pdf
8. Rosini F, Nascentes CC, Nóbrega JA. Experimentos didáticos envolvendo radiação micro-ondas. Quim Nova 2004; 27(6): 1012-5.
9. Oertli DCB, Mandarino F, Guerreiro MR. Estudo dos diferentes sistemas de polimerização para restaurações estéticas indiretas. Rev Bras Odontol 2002; 59:61-4.
10. Hirata R, Mazzetto AH, Yao E. Alternativas clínicas de sistemas de resinas compostas laboratoriais – quando e como usar. JBC – Jornal Brasileiro de Clínica & Estética em Odontologia 2000; 4(19): 13-21.

11. Santos MJMC, Silva e Souza Jr MH, Mondelli, RFL. Novos conceitos relacionados à fotopolimerização das resinas compostas. *JBD* 2002; 1(1): 14-21.
12. Martins Junior LO, Vaz RR, Mota JMLF, Campos WRC. Evaluation of the Mechanical Properties of Light-Cure Composite Resins Submitted to Post-Cure. *RFO* 2010; 15(3): 275-80.
13. Kildal KK, Ruyter IE: How different curing methods affect mechanical properties of composites for inlays when tested in dry and wet conditions. *Eur J Oral Sci*1997; 105: 353-61.
14. Roberto M. Efeito de polimerização térmica adicional em microondas na resistência à flexão de compósito direto. *Bras Oral Res* 2004, 18: 78.
15. Carvalho CF. Avaliação de duas resinas diretas e uma laboratorial após três diferentes métodos de pós-polimerização através da resistência à flexão e módulo de elasticidade. Salvador 2012. [Dissertação de Mestrado em Clínica Odontológica – Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública].
16. Galafassi D, Goncalves LS, Spazzin AO, Carlini Jr B. Análise da influência de três métodos de pós-polimerização sobre a resistência à flexão de um compósito de uso clínico. *Rev Dent Press Estét* 2006; 3: 37-42.
17. Souza ROA, Özcan M, Mesquita AMM, Melo RM, Galhano GAP, Bottino MA et al. Effect Of Different Polymerization Devices On The Degree Of Conversion And Physical Properties Of An Indirect Resin Composite. *Acta Odontol Latinoamericana* 2010; 23(2): 129-35.
18. Souza ROA, Mesquita AMM, Pavanelli CA, Nishioka RS, Botino MA. Avaliação da Resistência à Flexão de Três Resinas Compostas de Uso Laboratorial. *Int J Dent* 2005; 4(2): 50-4.
19. ISO 4049. Dentistry - Resin-based filling materials. International Organization for Standardization. 1988.

ANEXOS

ANEXO 1- Análise Estatística

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
posicao	3	1 2 3
tempo	2	1 2

Data for Analysis of RF2

Number of Observations Read	60
Number of Observations Used	50

Data for Analysis of ME2

Number of Observations Read	60
Number of Observations Used	49

NOTE: Variables in each group are consistent with respect to the presence or absence of missing values.

Dependent Variable: RF2

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	2527.66612	505.53322	2.37	0.0548
Error	44	9391.51722	213.44357		
Corrected Total	49	11919.18334			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RF2 Mean
0.212067	13.59905	14.60971	107.4318

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
posicao	2	138.513070	69.256535	0.32	0.7246
tempo	1	2084.263530	2084.263530	9.76	0.0031
posicao*tempo	2	304.889521	152.444760	0.71	0.4952

posicao*tempo Effect Sliced by posicao for RF2

posicao	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
1	1	786.018251	786.018251	3.68	0.0615
2	1	1472.073800	1472.073800	6.90	0.0118
3	1	131.061000	131.061000	0.61	0.4375

posicao*tempo Effect Sliced by tempo for RF2

tempo	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
1	2	266.618390	133.309195	0.62	0.5402
2	2	152.624474	76.312237	0.36	0.7014

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RF2

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	44
Error Mean Square	213.4436
Critical Value of Studentized Range	3.43015

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

posicao	Difference Between	Simultaneous 95% Confidence
---------	--------------------	-----------------------------

Comparison	Means	Limits	
1 - 3	2.135	-10.418	14.688
1 - 2	3.979	-8.005	15.963
3 - 1	-2.135	-14.688	10.418
3 - 2	1.844	-10.544	14.233
2 - 1	-3.979	-15.963	8.005
2 - 3	-1.844	-14.233	10.544

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RF2

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	44
Error Mean Square	213.4436
Critical Value of Studentized Range	2.85020
Minimum Significant Difference	8.3348
Harmonic Mean of Cell Sizes	24.96

NOTE: Cell sizes are not equal.

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	tempo
A	113.671	26	2
B	100.673	24	1

Dependent Variable: ME2

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	16.81800992	3.36360198	3.89	0.0054
Error	43	37.22479008	0.86569279		
Corrected Total	48	54.04280000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ME2 Mean
0.311198	26.60532	0.930426	3.497143

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
posicao	2	5.41281882	2.70640941	3.13	0.0540
tempo	1	10.95986286	10.95986286	12.66	0.0009
posicao*tempo	2	0.44532823	0.22266412	0.26	0.7744

Least Squares Means

posicao*tempo Effect Sliced by posicao for ME2

posicao	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
1	1	3.270010	3.270010	3.78	0.0585
2	1	2.218507	2.218507	2.56	0.1167
3	1	5.916675	5.916675	6.83	0.0123

posicao*tempo Effect Sliced by tempo for ME2

tempo	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
1	2	1.320267	0.660134	0.76	0.4727
2	2	4.520752	2.260376	2.61	0.0851

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ME2

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	43
Error Mean Square	0.865693
Critical Value of Studentized Range	3.43292

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

posicao Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits	
3 - 1	0.1562	-0.6438	0.9563
3 - 2	0.7588	-0.0159	1.5335
1 - 3	-0.1562	-0.9563	0.6438
1 - 2	0.6026	-0.1975	1.4027
2 - 3	-0.7588	-1.5335	0.0159
2 - 1	-0.6026	-1.4027	0.1975

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	43
Error Mean Square	0.865693
Critical Value of Studentized Range	2.85208
Minimum Significant Difference	0.5371
Harmonic Mean of Cell Sizes	24.40816

NOTE: Cell sizes are not equal.

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	tempo
A	3.9423	26	2
B	2.9939	23	1

Class Level Information

Class	Levels	Values
grupo	11	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Data for Analysis of RF

Number of Observations Read	110
Number of Observations Used	92

Data for Analysis of ME

Number of Observations Read	110
Number of Observations Used	92

NOTE: Variables in each group are consistent with respect to the presence or absence of missing values.

Dependent Variable: RF

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	27677.21217	2767.72122	14.23	<.0001
Error	81	15752.87031	194.47988		
Corrected Total	91	43430.08248			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RF Mean
0.637282	14.13137	13.94560	98.68543

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	10	27677.21217	2767.72122	14.23	<.0001

Dunnnett's t Tests for RF

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error for comparisons of all treatments

against a control.

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 81
 Error Mean Square 194.4799
 Critical Value of Dunnett's t 2.78760

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

grupo Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits
3 - 10	23.537	5.211 41.862 ***
6 - 10	22.190	3.864 40.516 ***
5 - 10	20.427	0.836 40.018 ***
9 - 10	17.756	-1.134 36.646
2 - 10	14.485	-4.405 33.375
7 - 10	11.831	-7.760 31.422
1 - 10	9.914	-8.976 28.803
4 - 10	4.103	-14.222 22.429
8 - 10	-10.668	-29.557 8.222
11 - 10	-34.597	-52.459 -16.735 ***

Dependent Variable: ME

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	59.5122849	5.9512285	8.61	<.0001
Error	81	56.0171271	0.6915695		
Corrected Total	91	115.5294120			

R-Square 0.515127
 Coeff Var 26.56060
 Root MSE 0.831607
 ME Mean 3.130978

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	10	59.51228489	5.95122849	8.61	<.0001

Dunnett's t Tests for ME

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error for comparisons of all treatments against a control.

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 81
 Error Mean Square 0.691569
 Critical Value of Dunnett's t 2.79882

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

grupo Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits
9 - 10	0.9664	-0.1030 2.0359
3 - 10	0.6907	-0.4133 1.7948
6 - 10	-0.0080	-1.0774 1.0614
7 - 10	-0.2155	-1.3195 0.8885
1 - 10	-0.2451	-1.3922 0.9019
2 - 10	-0.2666	-1.4136 0.8804
5 - 10	-0.3666	-1.5136 0.7804
8 - 10	-0.3958	-1.4652 0.6736
4 - 10	-0.7318	-1.8358 0.3723
11 - 10	-2.1430	-3.1839 -1.1021 ***

Class Level Information

Class	Levels	Values
grupo	11	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Data for Analysis of RF

Number of Observations Read 110
 Number of Observations Used 92

Data for Analysis of ME

Number of Observations Read 110
 Number of Observations Used 92

NOTE: Variables in each group are consistent with respect to the presence or absence of missing values.

The SAS System 11:54 Sunday, May 22, 2005 97

The GLM Procedure

Dependent Variable: RF

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	27677.21217	2767.72122	14.23	<.0001
Error	81	15752.87031	194.47988		
Corrected Total	91	43430.08248			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RF Mean
0.637282	14.13137	13.94560	98.68543

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	10	27677.21217	2767.72122	14.23	<.0001

Dunnnett's t Tests for RF

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error for comparisons of all treatments against a control.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	81
Error Mean Square	194.4799
Critical Value of Dunnnett's t	2.79860

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

grupo Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits
3 - 11	58.134	40.201 76.066 ***
6 - 11	56.787	38.855 74.719 ***
5 - 11	55.024	35.790 74.257 ***
9 - 11	52.353	33.840 70.866 ***
2 - 11	49.082	30.569 67.594 ***
7 - 11	46.428	27.195 65.661 ***
1 - 11	44.511	25.998 63.023 ***
4 - 11	38.700	20.768 56.632 ***
10 - 11	34.597	16.665 52.529 ***
8 - 11	23.929	5.417 42.442 ***

Dependent Variable: ME

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	59.5122849	5.9512285	8.61	<.0001
Error	81	56.0171271	0.6915695		
Corrected Total	91	115.5294120			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ME Mean
0.515127	26.56060	0.831607	3.130978

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
--------	----	-----------	-------------	---------	--------

grupo	10	59.51228489	5.95122849	8.61	<.0001
-------	----	-------------	------------	------	--------

Dunnett's t Tests for ME

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error for comparisons of all treatments against a control.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	81
Error Mean Square	0.691569
Critical Value of Dunnett's t	2.79882

Comparisons significant at the 0.05 level are indicated by ***.

grupo Comparison	Difference Between Means	Simultaneous 95% Confidence Limits		
9 - 11	3.1094	2.0400	4.1789	***
3 - 11	2.8338	1.7297	3.9378	***
10 - 11	2.1430	1.1021	3.1839	***
6 - 11	2.1350	1.0656	3.2044	***
7 - 11	1.9275	0.8235	3.0315	***
1 - 11	1.8979	0.7508	3.0449	***
2 - 11	1.8764	0.7294	3.0234	***
5 - 11	1.7764	0.6294	2.9234	***
8 - 11	1.7472	0.6778	2.8166	***
4 - 11	1.4113	0.3072	2.5153	***