



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



GRAZIELY BORGES OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DURANTE A
CONFEÇÃO DE AMOSTRAS EM ENSAIO
MECÂNICO DE MICROCISALHAMENTO**

UBERLÂNDIA

2017

GRAZIELY BORGES OLIVEIRA

INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DURANTE A
CONFECÇÃO DE AMOSTRAS EM ENSAIO
MECÂNICO DE MICROCISALHAMENTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a Faculdade de Odontologia da UFU, como
requisito parcial para obtenção do título de
Graduado em Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Murilo de Sousa
Menezes

Co-orientadora: Doutoranda Fernanda
Pereira Silva

UBERLÂNDIA

2017



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ATA DA COMISSÃO JULGADORA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO (A)
DISCENTE **Graziely Borges Oliveira** DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA.

No dia cinco de julho de 2017, reuniu-se a Comissão Julgadora aprovada pelo Colegiado de Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, para o julgamento do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo (a) aluno (a) **Graziely Borges Oliveira, COM O TÍTULO: "INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES DURANTE A CONFECCÃO DE AMOSTRAS EM ENSAIO MECÂNICO DE MICROCISALHAMENTO"**. O julgamento do trabalho foi realizado em sessão pública compreendendo a exposição, seguida de arguição pelos examinadores. Encerrada a arguição, cada examinador, em sessão secreta, exarou o seu parecer. A Comissão Julgadora, após análise do Trabalho, verificou que o mesmo encontra-se em condições de ser incorporado ao banco de Trabalhos de Conclusão de Curso desta Faculdade. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas da Graduação, legislação e regulamentação da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e lavrada a presente ata, que após lida e achada conforme, foi assinada pela Banca Examinadora.

Uberlândia, 05 de julho de 2017

Andréa Gomes de Oliveira

Profa. Dra. Andréa Gomes de Oliveira
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Aprovada
Aprovado/Reprovado

Célio Jesus do Prado

Prof. Dr. Célio Jesus do Prado
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Aprovada
Aprovado/Reprovado

Murilo de Sousa Menezes

Prof. Dr. Murilo de Sousa Menezes
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Aprovada
Aprovado/Reprovado

Ana Laura Rezende Vilela

Ana Laura Rezende Vilela
Aluno de Doutorado – PPGO/UFU

Aprovada
Aprovado/Reprovado

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Selma Gonçalves Borges Silva e Valdemir Oliveira Silva que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Murilo Menezes, pela sabedoria na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

À Fernanda Pereira, minha co-orientadora, por seus ensinamentos, paciência e confiança ao longo das supervisões das minhas atividades.

Aos professores Paulo Vinícius e Luís Raposo, pelo auxílio na execução do projeto.

Aos pós-graduandos Alexandre Machado, Marcela Borges e Ana Laura Rezende da odontologia e André Oliveira da engenharia, pelo suporte e colaboração em diversas etapas deste estudo.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Odontologia por me permitirem cursar minha graduação, à Fapemig pelo apoio financeiro que permitiu a realização desta pesquisa e ao Laboratório CPbio, que foi onde executei toda a fase laboratorial deste trabalho.

A todos os funcionários, técnicos e docentes, da Faculdade de Odontologia, que tiveram papel crucial na minha formação profissional.

Ao meu irmão, Igor Borges, que me apoiou nas horas de desânimo e cansaço.

Aos meus amigos Camila Linhares, Paulo Zanuto e Marcelo Garcia, pelo incentivo e amparo nas ocasiões mais difíceis e pelos bons momentos, risadas e diversões, que tornaram esse período mais leve.

Aos demais amigos e colegas de graduação, companheiros de trabalho que fizeram parte da minha trajetória.

Ao meu namorado, Pedro Ventura, pelo constante esteio e por ter ajudado com tudo que estava ao seu alcance.

Obrigada!

“Mude a sua vida hoje. Não deixe para arriscar no futuro, aja agora, sem atrasos”.

Simone de Beauvoir

RESUMO

Com o advento da odontologia adesiva houve grande aprimoramento dos materiais e técnicas restauradoras, contudo, avaliar esses novos produtos quanto às suas propriedades (físicas e mecânicas) também é um desafio. O objetivo deste estudo foi comparar o efeito da distribuição de tensões e resistência de união para o ensaio mecânico de microcisalhamento, variando a distância entre os corpos de prova e a espessura do fio do dispositivo de microcisalhamento (fio ortodôntico). Os corpos de prova foram confeccionados com cimento resinoso sobre uma base de cerâmica reforçada por dissilicato de lítio, variando a distância entre eles de 1,5mm e 3,0mm, e a espessura do fio de 0,3mm e 0,7mm. Para o ensaio mecânico, foram confeccionadas 40 amostras (n=10): GA- distância entre os corpos de prova de 1,5mm e fio com 0,3mm de espessura; GB- distância de 1,5mm e fio com 0,7mm; GC- distância de 3,0mm e fio com 0,3mm e GD- distância de 3,0mm e fio com 0,7mm. Para o método de elementos finitos (MEF), quatro modelos tridimensionais foram gerados de acordo com os fatores de estudo e sobre estes aplicados carga estática de 29,985N. Os valores de resistência de união foram tabulados e analisados pela análise de variância ANOVA dois fatores e teste de comparação de média, teste de Tukey, ($\alpha=0,05$). O MEF mostrou pequena concentração de tensões, onde GA e GB apresentaram os maiores valores. Os valores de Resistência de União (RU) apresentaram diferença apenas para espessura do fio, onde os de 0,3mm (GA e GC) resultaram os maiores valores. Houve predominância de falha mista nos grupos GA, GB e GC e falha adesiva em GD. Diferentes espessuras do fio utilizado no dispositivo de microcisalhamento e a distância entre os corpos de prova interferiram nos resultados de RU e nas concentrações de tensões respectivamente.

Palavras chave: Cerâmica, Resistência a Cisalhamento, Análise de Elementos Finitos.

ABSTRACT

The advent of adhesive dentistry has brought great improvement of materials and restorative techniques, however, evaluating these new products as to their properties (physical and mechanical) is also a challenge. The objective of this study was to compare the effect of stress distribution and bond strength for the micro-shear test, by varying the distance between the specimens and the wire thickness of the micro-shear device (orthodontic wire). The specimens were made with resin cement on a ceramic base reinforced by lithium disilicate, varying the distance between them of 1.5mm and 3.0mm, and the wire thickness of 0.3mm and 0.7mm. For finite element method, four three-dimensional models were generated according to the study factors and on these applied static load of 29.985N. For the mechanical test, 40 samples (n = 10) were made: GA - distance between 1.5mm and 0.3mm thick test pieces; GB - distance of 1.5mm and wire with 0.7mm; GC – 3.0mm distance and 0.3mm wire; GD - distance of 3.0mm and wire with 0.7mm. The Union Resistance values were tabulated and analyzed by analysis of variance ANOVA two-way and test of comparison of mean, Tukey's test, ($\alpha = 0.05$). The Finite element method showed a small concentration of stresses, where GA and GB presented the highest values. The values of bond strength showed differences only for wire thickness, where 0.3 mm (GA and GC) resulted in the highest values. There was a predominance of mixed failure in the GA, GB and GC groups and adhesive failure in GD. Different thicknesses of the micro-cutting device wire and the distance between the test specimens interfered in the Union Resistance results and the stress concentrations respectively.

Key words: Ceramics, Shear Strength, Finite Element Analysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. JUSTIFICATIVA	9
3. PROPOSIÇÃO	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1. Preparo das amostras	11
4.2. Tratamento de superfície	12
4.3. Confeção das restaurações	13
4.4. Mensuração da resistência de união ao microcislamento .	14
4.5. Análise de elementos finitos	15
4.6. Análise estatística dos dados	17
5. RESULTADOS	17
5.1. Resistência de União por microcislamento	17
5.2. Análise por elementos finitos	18
6. DISCUSSÃO	21
7. CONCLUSÃO	23
8. REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

A implantação da odontologia adesiva trouxe progressivo desenvolvimento e aprimoramento aos materiais e técnicas restauradoras, o que possibilitou reabilitações estéticas com menor tempo de atendimento e simplificação dos passos. Mesmo que a constante renovação de produtos seja consequência da evolução tecnológica e do aprimoramento dos conhecimentos, a avaliação desses materiais mostra-se como um desafio. Assim, a análise com testes mecânicos *in vitro* tornou-se de extrema importância para avaliação das propriedades físicas, mecânicas e comparar a resistência de união destes materiais odontológicos (MARSHALL *et al.*, 2010).

Para avaliar a resistência de união de sistemas adesivos e cimentos resinosos aos materiais restauradores e ao substrato dentário os testes mais utilizados atualmente são os ensaios mecânicos de microtração e microcisalhamento (SCHERRER *et al.*, 2010; ARMSTRONG *et al.*, 2010). Ambos os testes possuem benefícios sobre os testes tradicionais de tração e cisalhamento, por permitirem maior padronização do substrato a ser avaliado e, consequentemente, maior uniformidade da área testada (EL ZOHAIRY *et al.*, 2010). Além de possibilitarem a mensuração em superfícies muito pequenas (aproximadamente 1mm²) e a confecção de vários corpos de prova, a partir do mesmo substrato. Assim, eles resultam em melhor distribuição das tensões sobre a superfície durante o carregamento, gerando mais falhas na interface adesiva, ou seja, menos falhas coesivas, mensurando com maior precisão a resistência de união (SANO *et al.*, 1994).

Testes de resistência de união *in vitro* por microcisalhamento são comumente utilizados para analisar quantitativamente e classificar o desempenho de sistemas adesivos (SAMIMI *et al.*, 2016). O ensaio mecânico de microcisalhamento possui protocolo de execução relativamente simples, facilidade no preparo das amostras, confecção de vários corpos de prova de um mesmo substrato, padronização da região a ser analisada, além de dispensar a etapa de seccionamento das amostras o que poderia resultar em indução de microfissuras prematuras (SCHERRER *et al.*,

2010; ARMSTRONG *et al.*, 2010). Entretanto, a constante utilização (PHRUKKANON 1998) e popularização desta metodologia permitiu que inúmeras modificações fossem introduzidas. Desta forma, tem sido notória alta dispersão nos resultados entre materiais similares avaliados em diferentes configurações deste teste. (SCHERRER *et al.*, 2010; ROEDER *et al.*, 2011).

O método de elementos finitos é relevante e pode auxiliar a identificar o que ocorre no comportamento dos materiais avaliados, no momento de execução do teste. É um método computacional que calcula as tensões e deformações a partir de modelos virtuais (DIARRA *et al.*, 2016). Essa análise permite observar o acúmulo de tensões na interface adesiva em função da geometria dos espécimes, modo de carregamento, propriedade dos materiais, forma de preparo dos espécimes, dentre outros. (ARMSTRONG *et al.*, 2010; ROEDER *et al.*, 2011; RAPOSO *et al.*, 2012) Aplicações do método de análise de elementos finitos na odontologia têm crescido exponencialmente na última década como forma de avaliar o comportamento mecânico de materiais dentários, dentes e implantes (DEHOFF *et al.*, 1995).

A padronização da distância entre os espécimes utilizados para confecção das amostras e a espessura do fio utilizado no ensaio mecânico são alguns parâmetros importantes do teste de microcisalhamento, pois podem influenciar os resultados de resistência de união. Portanto, é relevante estudar as variações na confecção das amostras para o ensaio mecânico de microcisalhamento.

2. JUSTIFICATIVA

O ensaio mecânico de microcisalhamento é um dos mais utilizados e permite a mensuração da resistência de união de materiais restauradores à diferentes substratos. Essa análise é de grande importância para avaliar a qualidade dos materiais, selamento marginal, resistência de união e também possíveis falhas adesivas. No entanto, verifica-se que há grande dispersão nos resultados por não existir uma padronização na utilização desta metodologia. Assim, a padronização da etapa de confecção de amostras pode permitir maior confiabilidade nos resultados.

3. PROPOSIÇÃO

Avaliar as variáveis distância dos corpos de prova e espessura do fio utilizado no ensaio mecânico de microcisalhamento quanto à sua influência nos resultados de resistência de união e concentração de tensão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS:

Delineamento Experimental:

Unidade amostral: corpos de prova de cimento resinoso associados à blocos de cerâmica à base de dissilicato de lítio;

Fatores em estudo:

- Distância entre os espécimes em 2 níveis: 1,5mm e 3,0mm.
- Espessura do fio utilizado no ensaio mecânico: 0,3mm e 0,7mm.

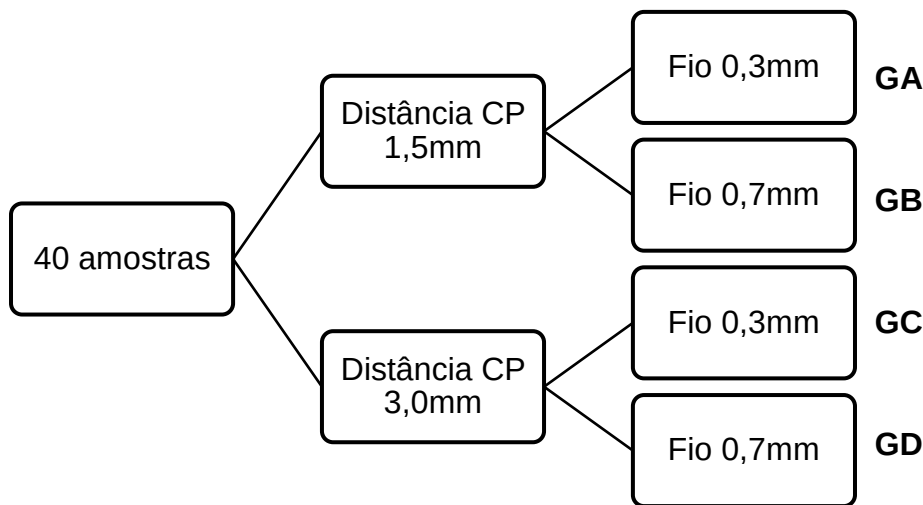
Método de análise:

- Ensaio mecânico de microcisalhamento, análise do padrão de falha e elementos finitos.

Variáveis respostas:

- Resistência de união, tipo de falha, distribuição de tensão.

Grupos experimentais:



- Formatação dos tratamentos designados às unidades experimentais:

Após a confecção dos corpos de prova de cimento resinoso associados à blocos de cerâmica a base de dissilicato de lítio, as amostras foram divididas aleatoriamente entre os grupos experimentais.

- Forma de análise dos dados:

Análise da normalidade e homogeneidade dos dados. Como foram atendidos os preceitos de análise paramétrica: Análise de Variância Anova Two Way (Anova Dois Fatores) e avaliação de diferença de médias, o teste de Tukey.

Preparo das amostras:

Quarenta blocos de cerâmica vítrea de dissilicato de lítio (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent), foram utilizados como substrato para o ensaio mecânico de microcisalhamento. Os blocos encontravam-se inicialmente no estágio cristalino intermediário. A resistência do material nesta fase intermediária é de 130 a 150 MPa. Eles tiveram a base metálica removida e foram cristalizados em forno cerâmico da Ivoclar Vivadent (Programat® P300, P500, P700) por aproximadamente 20 a 31 minutos, em temperatura de 840-850°C (1544-1562°F), que produziu alterações da microestrutura, resultantes do crescimento controlado dos cristais de di-silicato de lítio e 360 MPa de resistência.

Os blocos foram incluídos em cilindros de PVC com resina de poliestireno (Aerojet, Santo Amaro, SP, Brasil). Após a inclusão, as superfícies das cerâmicas foram abrasonadas com lixas de carbeto de silício granulação 600, 800, 1200, Norton, Campinas, SP, Brasil) durante 20s para padronização das amostras.

Tratamento de superfície:

As superfícies dos blocos cerâmicos (Figura 1.A) foram tratadas com ácido hidrofluorídrico a 10% (Condac Porcelana, FGM, Joinville, PR, Brasil) (Figura 1.B), durante 20 s, lavados com jato de água por meio de seringa tríplice por 1 min (Figuras 1.C e 1.D) e secos com jato de ar. Posteriormente, foi realizado condicionamento com ácido fosfórico 37% (Condac 37, FGM, Joinville, PR, Brasil) por 1 minuto (Figura 1.E), lavados com jato de água por 1 min, secos com jato de ar e procedeu-se a aplicação de silano durante 1 minuto (Prosil, FGM) (Figura 1.F). (SOARES *et al.*, 2005).



Figura 1.A

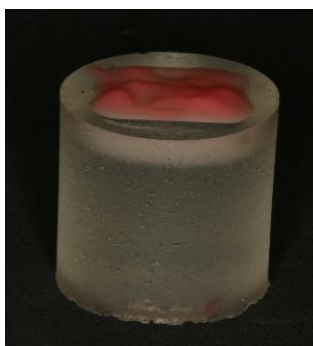


Figura 1.B



Figura 1.C



Figura 1.D

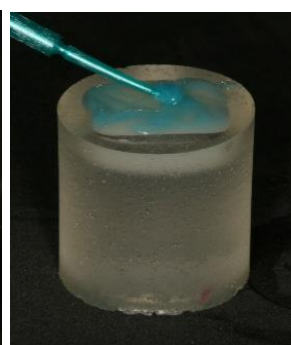


Figura 1.E

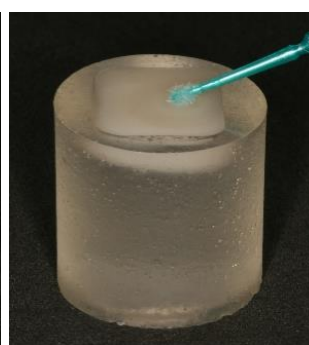


Figura 1.F

Confecção das restaurações:

Após os tratamentos de superfície, as amostras foram divididas aleatoriamente entre os grupos experimentais (n=10). Para a confecção dos corpos de prova de cimento resinoso na superfície das cerâmicas foi utilizado, como molde, micro tubo denominado *Tygon* (TYG-030, Small Parts Inc., Miami Lakes, FL, USA) (Figura 2.A e 2.B). Seis espécimes foram confeccionados sobre a superfície de cada bloco, com 1,5mm de diâmetro e 1,0mm de altura, e espaçamento de 1,5 e 3,0mm entre os espécimes. Para a padronização das distâncias entre os corpos de prova utilizou-se matrizes com silicone de adição (Coltene, Suíça).

Após a inserção do cimento resinoso dual (RelyX U200, 3M ESPE) aguardou-se 5 minutos para que a polimerização química ocorresse e em seguida as amostras foram fotoativadas por 40 segundos com aparelho LED (Radii Plus, SDI, Austrália).

A matriz utilizada para a confecção dos espécimes foi removida com lâmina de bisturi (Figura 2.C) e em seguida, as amostras armazenadas em água destilada à 37°C. Os espécimes foram selecionados de maneira randomizada para o ensaio mecânico de microcisalhamento.

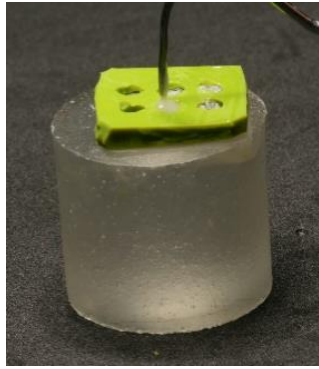


Figura 2.A



Figura 2.B

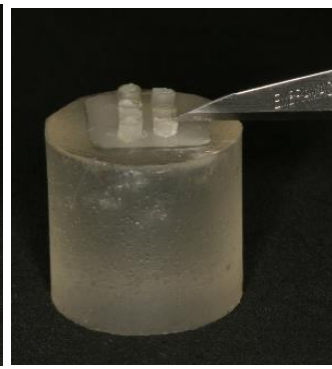


Figura 2.C



Figura 2.D



Figura 2.E

Figuras 2.D e E: Restaurações prontas, com espaçamentos de 1,5mm e 3,0mm, respectivamente.

Mensuração da resistência de união ao microcisolamento:

Para o teste de microcisolamento, um dispositivo metálico desenvolvido especificamente para o ensaio de microcisolamento foi acoplado em uma extremidade na base da máquina de ensaio mecânico (EMIC DL 2000, São José dos Pinhais, Paraná, Brasil) e, a outra, à célula de carga de 20KgF. O cilindro de resina de poliestireno contendo o bloco de cerâmica foi posicionado no dispositivo, de forma que as restaurações ficassem paralelas à célula de carga. O fio ortodôntico de 0,3 milímetros de diâmetro (NiCr, Morelli, Sorocaba, SP, Brasil) (Figura 3.A) ou 0,7 milímetros de diâmetro (NiCr, Morelli, Sorocaba, SP, Brasil) (Figura 3.B) foi posicionado circundando o cilindro de cimento resinoso e a projeção metálica do dispositivo o mais rente da cerâmica para realizar o ensaio mecânico de microcisolamento. A máquina foi acionada em carregamento de tração à velocidade de 0,5 mm/min, até ocorrer o rompimento dos espécimes.

Os valores de resistência de união em Newton (N) foram tabulados e expressos em Megapascal (MPa), foram divididos pela área da interface adesiva. A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$R=F/A$$

Onde, F é a força necessária para ruptura (N), e A é a área adesiva dos espécimes (mm²). foram divididos pela área da interface adesiva.

A análise estatística foi realizada através do teste de variância ANOVA Two Way e teste de Tukey ($\alpha=0,05$),

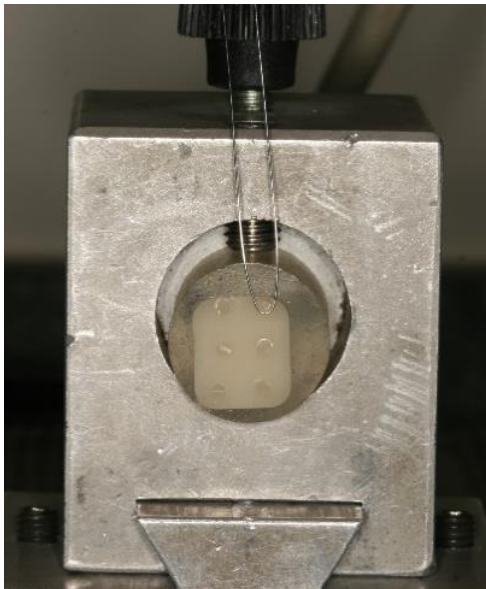


Figura 3.A

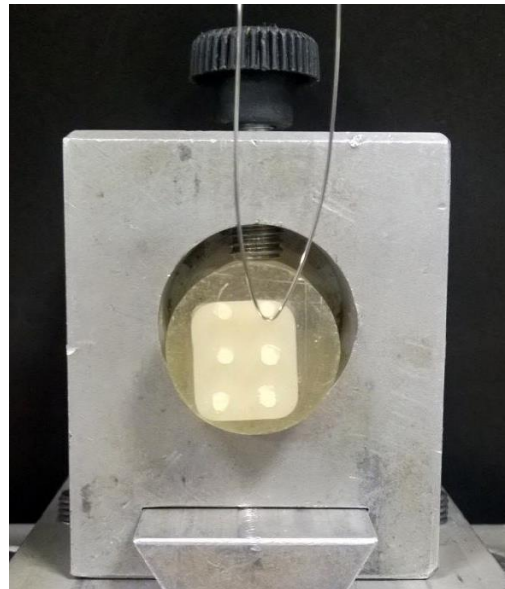


Figura 3.B

Análise de elementos finitos

Modelos tridimensionais (3D) de elementos finitos foram confeccionados simulando os fatores em estudo deste trabalho (Figura 4.A). Os materiais utilizados foram gerados utilizando elementos de oito nós hexaédricos (Software ANSYS, Inc, 2010, Computer Aided Engineering Canonsburg, Pensilvânia, Estados Unidos). Um bloco de cerâmica de 1,0mm de espessura e cilindros de cimento resinoso de 1,5mm de diâmetro e 1,0mm de altura foram simulados. As distâncias entre os cilindros foram variadas nos modelos (1,5 e 3,0mm). A carga estática aplicada foi de 29,985N, de forma perpendicular ao corpo de prova utilizando fio ortodôntico com

diâmetro de 0,3mm (Figura 4.B) e 0,7mm (Figura 4.C) inserido próximo a interface adesiva.

As propriedades mecânicas dos materiais utilizados foram caracterizadas como homogênea, elástica linear e isotrópica. O atrito entre o carregamento e o cilindro foi considerado negligenciável. Restrições ao deslocamento foram aplicadas na parte de trás da placa de cerâmica, simulando o ensaio mecânico laboratorial. Análise estrutural estática considerando contatos não-lineares foi realizada utilizando o software (Software ANSYS, Inc.) e os resultados foram analisados por meio de von Mises, tensão máxima principal e tensões de cisalhamento.

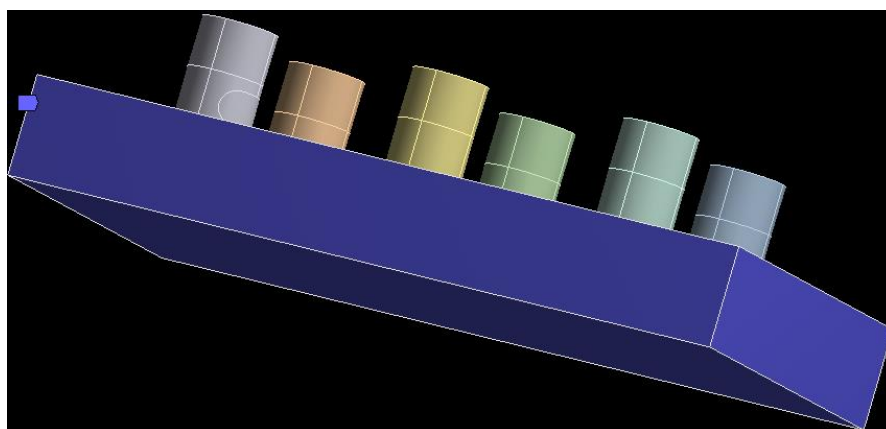


Figura 4.A



Figura 4.B

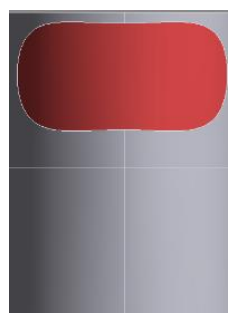


Figura 4.C

Análise estatística dos dados

Os dados foram tabulados e então analisados por meio do programa Minitab, empregando inicialmente uma análise para verificação da distribuição normal e homogênea dos dados. Os valores apresentaram requisitos que possibilitam o emprego da análise paramétrica. Assim, foi empregado a Análise de Variância de dois fatores em nível de 5% de probabilidade.

Houve diferença entre os grupos, assim foi empregado teste de comparação de médias – Teste de Tukey ($P < 0,05$) para definir quais grupos ocorreram diferenças significantes a este nível de probabilidade.

5. RESULTADOS

5.1 Resistência de União por microcisalhamento

A análise de variância (ANOVA two-way) mostrou diferença estatística em relação ao fator espessura de fio ortodôntico utilizado, e não apresentou diferença estatística em relação ao fator diferença entre a distância dos corpos de prova de 1,5mm e 3,0mm. O teste de Tukey, foi utilizado para comparar a diferença entre os grupos avaliados, mostrou que o fio com espessura de 0,3mm apresentou maiores valores de resistência de união do que o fio 0,7mm (Tabela 1). Para a distância entre os corpos de prova não houve diferença estatística.

	Fio 0,3mm	Fio 0,7mm
Distância 1,5mm	20,559 (5,07) Aa	16,823 (4,34) Ba
Distância 3,0 mm	21,019 (5,79) Aa	16,900 (4,01) Ba

Tabela 1: Resultado Resistência à Microcisalhamento

*Letras maiúsculas distintas mostram diferença estatística entre as colunas, letras minúsculas diferença estatística entre as linhas.

Em relação ao padrão de falha dos corpos de prova (Tabela 2), foi observado nos grupos GA (Distância de 1,5mm e fio ortodôntico de 0,3mm) e GB (Distância 1,5mm e fio ortodôntico 0,7mm) uma predominância de falha mista e a menor incidência neste grupo foi de falha coesiva no cimento. O grupo GC (Distância de 3,0mm e fio ortodôntico de 0,3mm) e GD (Distância de 3,0mm e fio ortodôntico de 0,7mm) apresentaram maior predominância de falha adesiva e menores índices nas falhas coesivas em cimento.

Padrão de falha	GA	GB	GC	GD
A – Falha Adesiva	26,7%	31,7%	38,3%	53,3%
M – Falha Mista	68,3%	53,3%	43,3%	31,7%
C – Falha coesiva em cimento	6,7%	10%	10%	8,3%

Tabela 2: Padrão de falha dos corpos de prova. Sendo GA: Distância 1,5mm e fio 0,3mm. GB: Distância 1,5mm e fio 0,7mm. GC: Distância 3,0mm e fio 0,3mm. GD: Distância 3,0mm e fio 0,7mm.

5.2 Análise por Elementos Finitos

Os modelos plotados pelo critério de tensão máxima principal (Figura 5) não apresentaram diferença no padrão de distribuição de tensão quando comparado as espessuras de 0,3 e 0,7 mm, independente da distância entre os corpos de prova. Por outro lado, a abrangência do campo de tensão no bloco cerâmico ficou mais próxima do corpo de prova adjacente na distância de 1,5 mm (Figura 5). Para todos os modelos, houve concentração de tensão de tração na interface cimento resinoso/cerâmica próxima à aplicação da força e concentração de tensão de compressão na interface oposta da aplicação da força.

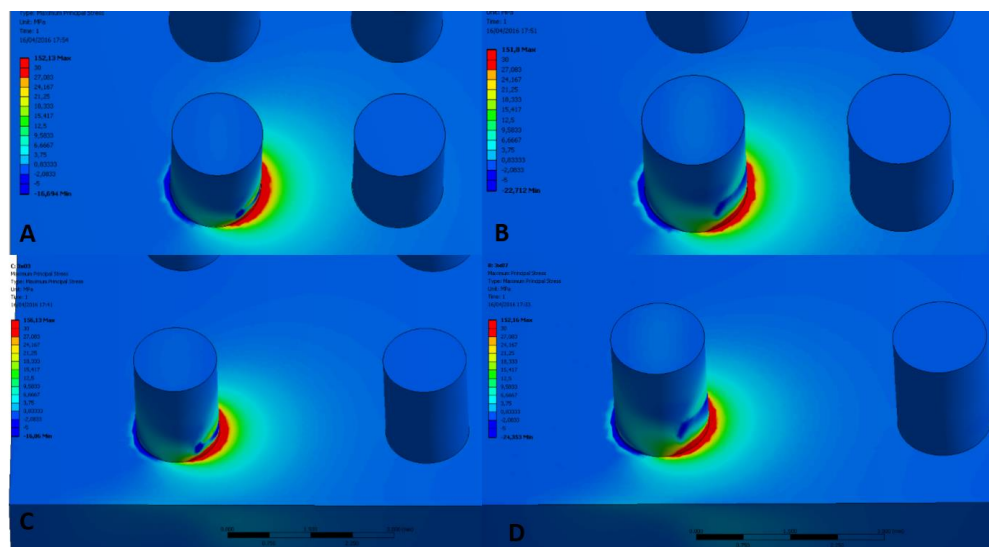


Figura 5: Critério de tensão máxima principal. (A): GA - Distância dos corpos de prova de 1,5mm e espessura do fio ortodôntico de 0,3mm; (B) GB - Distância dos corpos de prova de 1,5mm e espessura do fio ortodôntico de 0,7mm; (C) GC - Distância dos corpos de prova de 3,0mm e espessura do fio ortodôntico de 0,3mm; (D) GD - Distância dos corpos de prova de 3,0mm e espessura do fio ortodôntico de 0,7mm.

Na avaliação do gráfico do critério de falha de Von Mises (Gráfico 1), foi observado que nos grupos de corpos de prova na distância de 3,0mm não houve qualquer tensão nos corpos de prova adjacente ao corpo de prova que recebeu a força. Já nos grupos com distância de 1,5 mm entre os corpos de prova foi observada uma tensão mínima próximo ao corpo de prova adjacente. O mesmo foi observado no gráfico de Máxima Tensão principal (Gráfico 2).

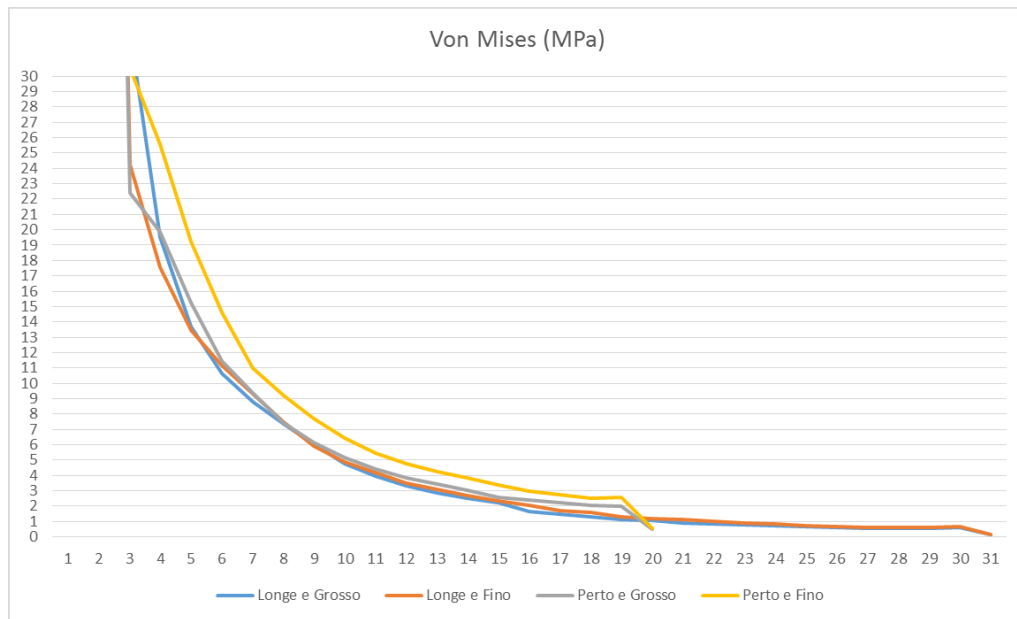


Gráfico 1: Critério de Falha Von Mises

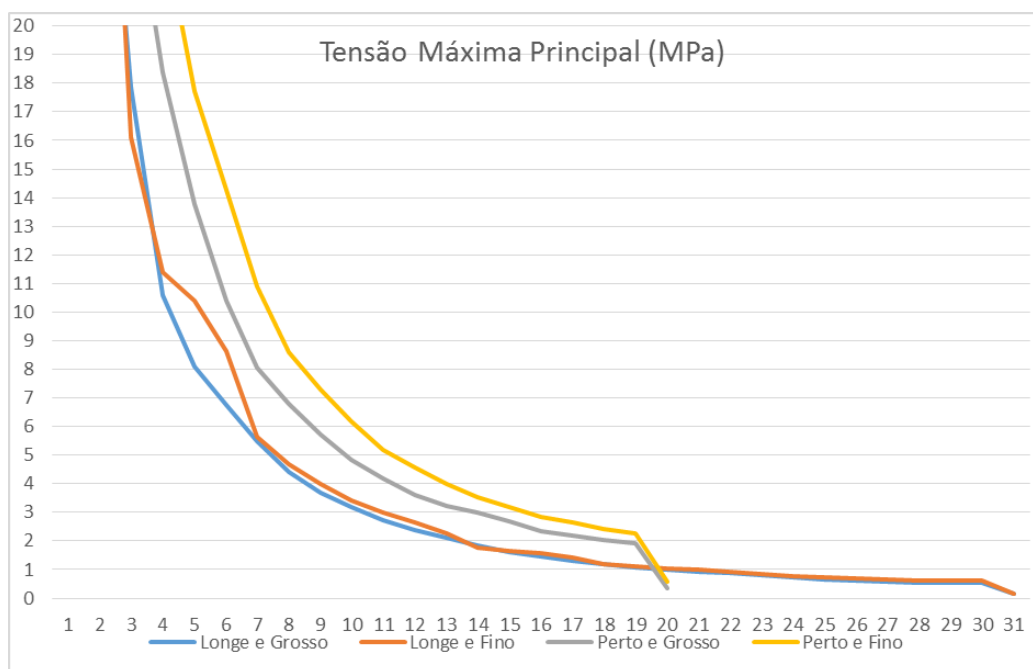


Gráfico 2: Tensão Máxima Principal

6. DISCUSSÃO

A hipótese proposta por esse estudo, de que variáveis no teste de microcisalhamento podem influenciar nos valores de resistência de união, foi aceita. A espessura do fio ortodôntico utilizado no ensaio mecânico influencia na análise da adesão do cimento resinoso à cerâmica a base de dissilicato de lítio. A simulação do ensaio mecânico de microcisalhamento por meio da análise em elementos finitos mostrou que as tensões na camada adesiva dos cilindros de cimento resinoso foram maiores quando os cilindros estavam mais próximos, 1,5 mm, apesar de não apresentar diferença estatística.

O ensaio mecânico de microcisalhamento apresenta corpos de prova com dimensões reduzidas, isto tem como vantagem resultados de resistência de união mais confiáveis (ANDRADE *et al.*, 2010) e precisos (EL ZOHARY *et al.*, 2010). No entanto, devido a crescente utilização dessa metodologia relatada nos estudos científicos houve grande variabilidade desta metodologia (ADEBAYO *et al.*, 2012; HARIRI *et al.*, 2012; ROEDER *et al.*, 2010), causando falhas como fraturas prematuras (MCDONOUGH *et al.*, 2002) e influenciando na variação dos resultados (ROEDER *et al.*, 2011), além disso, a descrição de materiais e métodos em vários estudos geralmente falha em relatar parâmetros de teste importantes (RAPOSO *et al.*, 2013)

Para a realização deste teste, existem diferentes configurações utilizadas para o carregamento dos espécimes nos testes de cisalhamento, tais como fios ortodônticos, cunhas afiadas, fitas de aço inoxidável, cinzéis e fios ortodônticos que apresentaram resultados mais confiáveis (DEHOFF *et al.*, 1995).

Apesar dos fios ortodônticos serem a ponta aplicadora de carga que gera resultados mais confiáveis, existe no mercado fios de diferentes espessuras. No presente estudo, o ensaio mecânico com fio mais espesso, 0,7mm, apresentou menores valores de resistência de união. E, quando observamos o padrão de falha, considerando grupos de mesma distância, houve menor ocorrência de falha adesiva nos grupos com fio 0,3mm.

Uma possível explicação é que pelo maior calibre, este fio não consegue adaptar perfeitamente ao redor do corpo de prova no momento do ensaio, pois possui maior rigidez, assim, não deforma de forma adequada. Durante a aplicação

de carga forças são aplicadas de forma mas irregulares nos corpos de prova resultando fraturas prematuras, não mensurando o real valor da resistência de união. O fio ortodôntico de menor espessura, 0,3mm, se adapta melhor a interface, consequentemente mensura com maior fidelidade os valores de resistência de união. Desse modo, é proposta a utilização padronizada de fio ortodôntico com espessura 0,3mm na execução de testes mecânicos de microcisalhamento.

A padronização da distância dos corpos de prova é outro fator que pode comprometer os resultados do estudo. Apesar de não apresentar diferença estatística nos resultados de resistência de união, a análise pelo método de elementos finitos mostrou que quando aplicada carga nos corpos de prova com distância de 1,5mm, resulta tensões no corpo de prova adjacente.

Essa interferência de forças também pôde ser verificada através do critério de falha de Von Mises e Máxima Tensão Principal. Enquanto os corpos que estavam com 3,0mm de distância entre eles, não apresentaram tensão alguma nos corpos de prova adjacentes. E, com relação ao padrão de falha, os grupos com distância menor (1,5mm) apresentaram maiores índices de falha mista.

Na maioria dos estudos de microcisalhamento, nenhum comentário é feito sobre falhas de pré-teste. No entanto, este é um fator relevante à ser relatado nos estudos, uma vez que poderia ser considerado como fator responsável pelo número diferente de espécimes para cada grupo em diferentes estudos (YOO et al., 2006).

Neste estudo foi simulado o teste com cerâmica a base de dissilicato de lítio e cimento resinoso, no entanto, dependendo do material utilizado, a tensão gerada no corpo de prova pode ser ainda maior. Assim, é recomendado uma distância padronizada de 3,0mm para que os corpos de prova não recebam influência de forças indesejadas e não interferir nos resultados de resistência de união.

7. CONCLUSÃO

Diferentes espessuras do fio utilizado no dispositivo de microcisalhamento e a distância entre os corpos de prova interferiram nos resultados de resistência de união e nas concentrações de tensões respectivamente.

8. REFERÊNCIAS

1. ADEBAYO OA, BURROW MF, TYAS MJ, PALAMARA J. Effect of tooth surface preparation on the bonding of self-etching primer adhesives. **Operative dentistry**, [s.l.], v. 37, n. 2, p.137-149, mar. 2012.
2. ANDRADE AM, MOURA SK, REIS A, LOGUERCIO AD, GARCIA EJ, GRANDE RH. Evaluating resin-enamel bonds by microshear and microtensile bond strength tests: effects of composite resin. **Journal of applied oral science: revista FOB**, [s.l.], v. 18, p. 591-598 dez. 2010.
3. ARMSTRONG S, GERALDELI S, MAIA R, RAPOSO LH, SOARES CJ, YAMAGAWA J. (2010) Adhesion to tooth structure: a critical review of "micro" bond strength test methods. **Dental materials**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 50-62, fev. 2010.
4. DEHOFF PH, ANUSAVICE KJ, WANG Z. Three-dimensional finite element analysis of the shear bond test. **Dental Materials**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.126-131, mar. 1995.
5. DIARRA A, MUSHEGYAN V, NAVEAU A. Finite Element Analysis Generates an Increasing Interest in Dental Research: A Bibliometric Study. **The Open Dentistry Journal**, [s.l.], v. 10, n. 1, p.35-42, 29 fev. 2016.
6. EL ZOHAIRY AA, SABER MH, ABDALLA AI, FEILZER AJ. Efficacy of microtensile versus microshear bond testing for evaluation of bond strength of dental adhesive systems to enamel. **Dental materials**, [s.l.], v. 26, n. 9, p.848-854, set. 2010.
7. HARIRI I, SHIMADA Y, SADR A, ICHINOSE S, TAGAMI J. The effects of aging on shear bond strength and nanoleakage expression of an etch-and-rinse adhesive on human enamel and dentin. **J Adhes Dent**, [s.l.], v. 14, p. 235-243, jun. 2012.
8. MARSHALL SJ, BAYNE SC, BAIER R, TOMSI AP, MARSHALL GW. A review of adhesion Science. **Dental materials**, [s.l.], v. 26, p. e11, fev. 2010.
9. MCDONOUGH, WG. et al. A microshear test to measure bond strengths of dentin–polymer interfaces. **Biomaterials**, [s.l.], v. 1, n. 23, p.3603-3608, fev. 2002.

10. PHRUKKANON S, BURROW MF, TYAS MJ. Effect of cross-sectional surface area on bond strengths between resin and dentin. **Dental materials**, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 120-128, mar. 1998.
11. RAPOSO LH, ARMSTRONG SR, MAIA RR, QIAN F, GERALDELI S, SOARES CJ. Effect of specimen gripping device, geometry and fixation method on microtensile bond strength, failure mode and stress distribution: laboratory and finite element analyses. **Dental materials**, [s.l.], v. 28, n. 5, p. 50-62, mai. 2012.
12. RAPOSO, LHA. **CRITICAL ASSESSMENT OF MECHANICAL TESTS PARAMETERS FOR DENTAL MATERIALS TESTING – LABORATORY AND FINITE ELEMENT ANALYSIS**. 2013. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Odontologia, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2013. Cap. 3.
13. ROEDER L, PEREIRA PN, YAMAMOTO T, ILIE N, ARMSTRONG S, FERRACANE J. Spotlight on bond strength testing-unraveling the complexities. **Dental Materials**, [s.l.], v. 27, p.1197-1203, dez. 2011.
14. SAMIMI P, ALIZADEH V, FATHPOUR K, MAZAHARI H, MORTAZAVI V. (2016) In-vitro comparison of the effect of different bonding strategies on the micro-shear bond strength of a silorane-based composite resin to dentin. **Dental Research Journal**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 124–131, mar-abr. 2013.
15. SANO H, SHONO T, SONODA H, TAKATSU T, CIUCCHI B, CARVALHO R, et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. **Dental materials**, [s.l.], v. 10, n. 4, p. 236-240, jul. 1994.
16. SCHERRER SS, CESAR PF, SWAIN MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review. **Dental materials**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 78-93, fev. 2010.
17. SOARES CJ, SOARES PV, PEREIRA JC, FONSECA RB. Surface treatment protocols in the cementation process of ceramic and laboratory-processed composite restorations: a literature review. **J Esthet Restor Dent**, [s.l.], v. 17, n. 4, p. 224-235, jul. 2005.
18. YOO HM, OH TS, PEREIRA PNR. Effect of Saliva Contamination on the Microshear Bond Strength of One-step Self-etching Adhesive Systems to Dentin. **Operative Dentistry**, [s.l.], v. 31, n. 1, p.127-134, jan. 2006.