

**AMANDA CAROLINA NEIVA
LEIJÔTO**

AMANDA CAROLINA NEIVA LEIJÔTO

**AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA LINHA DE
CIMENTAÇÃO DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO
EM FUNÇÃO DO PREPARO DO CONDUTO
RADICULAR E DO TIPO DE CIMENTO
RESINOSO**

**AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA
LINHA DE CIMENTAÇÃO DE PINOS DE
FIBRA DE VIDRO EM FUNÇÃO DO
PREPARO DO CONDUTO RADICULAR E
DO TIPO DE CIMENTO RESINOSO**

2016

**Faculdade de Odontologia
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte
2016**

AMANDA CAROLINA NEIVA LEIJÔTO

**AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA LINHA DE
CIMENTAÇÃO DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO EM FUNÇÃO
DO PREPARO DO CONDUTO RADICULAR E DO TIPO DE
CIMENTO RESINOSO**

Faculdade de Odontologia
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte
2016

AMANDA CAROLINA NEIVA LEIJÔTO

**AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA LINHA DE
CIMENTAÇÃO DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO EM FUNÇÃO
DO PREPARO DO CONDUTO RADICULAR E DO TIPO DE
CIMENTO RESINOSO**

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Odontologia – área de concentração em Clínica Odontológica.

Orientador: Prof^a Dr^a Monica Yamauti

Coorientador: Prof. Dr. Allyson Nogueira Moreira

Faculdade de Odontologia - UFMG

Belo Horizonte

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

L529a 2016 T	<p>Leijôto, Amanda Carolina Neiva Avaliação tridimensional da linha de cimentação de pinos de fibra de vidro em função do preparo do conduto radicular e do tipo de cimento resinoso / Amanda Carolina Neiva Leijôto. – 2016. 106 f.: il.</p> <p>Orientador (a): Mônica Yamauti Coorientador (a): Allyson Nogueira Moreira</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Odontologia.</p> <p>1. Microtomografia por Raio-X. 2. Pinos dentários. 3. Cimentos de resina. I. Yamauti, Mônica. II. Moreira, Allyson Nogueira. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Odontologia. IV. Título. BLACK D047</p>
--------------------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA



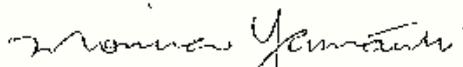
FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação tridimensional da linha de cimentação de pinos de fibra de vidro em função do preparo do conduto radicular e do tipo de cimento resinoso

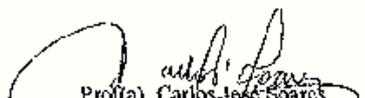
AMANDA CAROLINA NEIVA LEIJOTO

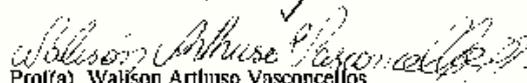
Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Odontologia, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Odontologia, área de concentração Clínica Odontológica.

Aprovada em 15 de julho de 2016, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Monica Yamauti - Orientador
UFMG


Prof(a). Allyson Nogueira Moreira
UFMG


Prof(a). Carlos José Soares
Universidade Federal de Uberlândia


Prof(a). Walison Arturino Vasconcelos
UFMG

Belo Horizonte, 15 de julho de 2016.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA



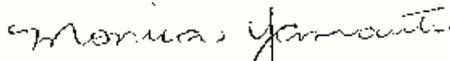
ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DA ALUNA AMANDA CAROLINA NEIVA LEIJOTO

Aos 15 dias de julho de 2016, às 08:30 horas, na sala 3403 da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais, reuniu-se a Comissão Examinadora composta pelos professores Monica Yamauti (Orientadora) – FO/UFMG, Allyson Nogueira Moreira – FO/UFMG, Carlos José Soares – Universidade Federal de Ubarlândia e Walison Arthuso Vasconcellos – FO/UFMG, para julgamento da dissertação intitulada: **Avaliação tridimensional da linha de cimentação de pinos de fibra de vidro em função do preparo do conduto radicular e do tipo de cimento resinoso.** A Presidente da Banca, abriu os trabalhos e apresentou a Comissão Examinadora. Após a exposição oral do trabalho pela aluna e arguição pelos membros da banca, a Comissão Examinadora considerou a candidata:

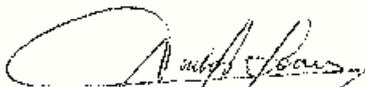
Aprovada

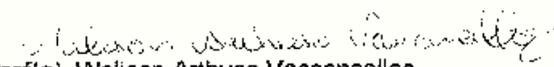
Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrou-se a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos demais membros da Comissão. Belo Horizonte, 15 de julho de 2016.


Prof(a). Monica Yamauti


Prof(a). Allyson Nogueira Moreira


Prof(a). Carlos José Soares


Prof(a). Walison Arthuso Vasconcellos

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família. Essa vitória é por vocês e para vocês! Amor incondicional!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as graças alcançadas e pela vida que escolheu para mim.

À Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), representada pelo reitor Jaime Arturo Ramírez.

À Faculdade de Odontologia da UFMG (FO-UFMG), representada pelo Diretor Prof. Dr. Henrique Pretti e Vice-diretora Prof^a. Dr^a. Rogéli Tibúrcio, pelo acolhimento nos anos de graduação e pós-graduação.

Aos funcionários da FO-UFMG por toda ajuda.

À coordenação do Programa de Pós-graduação da FO-UFMG, na pessoa da Profa. Dra. Isabela Almeida Pordeus, e à toda equipe do Colegiado.

Ao corpo docente do Programa em Clínica Odontológica da Faculdade de Odontologia, em especial aos professores da área de concentração em Clínica Odontológica, Prof. Dr. Allyson Nogueira Moreira, à Prof^a. Dr^a Claudia Silami Magalhães, à Prof^a. Dr^a. Monica Yamauti por todo incentivo e aprendizado.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Monica Yamauti, pela parceria, carinho e dedicação. O seu incentivo aprimorou meu interesse pela vida acadêmica.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Allyson Nogueira Moreira, pela atenção, disponibilidade em ajudar e contribuição valiosa ao trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Odontologia (FO-UFU), ao Programa de Pós-graduação da UFU (PPGO-UFU) e à equipe do Centro de Pesquisa de Biomecânica, Biomateriais e Biologia Celular – CPBio. Em especial ao Prof. Dr. Carlos José Soares pela excelente recepção, oportunidade e parceria. À Prof^a. Dr^a. Aline Aredes Bicalho, por todo auxílio nos momentos em que mais precisei e pelo cuidado com o trabalho. À Prof^a. Dr^a. Priscila Soares, à Stella Braga e à Lais Schliebe por todo apoio e pela parceria.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio por meio de concessão de bolsa de estudo.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação. A amizade de vocês deixou tudo mais leve.

À FGM pela doação dos materiais utilizados neste trabalho.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Aos meus pais, Rubens e Terezinha, meus maiores incentivadores. Obrigada por proporcionarem o melhor durante toda minha trajetória, tornando-a mais fácil de percorrer por ter vocês comigo.

À Tatá e ao Mu, meus companheiros de vida, pelo amor, por cuidarem de mim e por sempre estarem presentes.

Ao Hugo, minha melhor metade, obrigada por sempre trazer paz para meu coração. Obrigada por viver ao meu lado e por me incentivar a crescer todos os dias.

À Goretti e Dilermando, minha segunda família. Obrigada pelo incentivo, carinho e compreensão.

Às amigas do Colégio Espanhol Santa Maria e aos amigos da graduação e pós-graduação da Faculdade de Odontologia, pelos conselhos e companheirismo em todos os momentos.

À Dolly, Bardot e Pene, minhas “cãopanheiras”.

Aos meus avós, em especial, à vó Tetê, exemplo de dedicação e amor. Aos familiares e amigos, obrigada por todo apoio.

RESUMO

Dentes tratados endodonticamente e extensamente destruídos necessitam de restauração coronária com utilização de pinos intrarradiculares pré-fabricados ou núcleos metálicos. Uma das causas de falha do pino intrarradicular é a sua perda de retenção e, conseqüentemente, o seu desprendimento do conduto radicular. A discrepância entre o diâmetro do canal e do pino provoca variação na linha de cimentação e, a partir dessa variação, diferentes concentrações de tensão podem ser observadas no cimento resinoso. As tensões geradas pela contração de polimerização podem afetar negativamente a resistência de união do cimento à dentina. Os condutos intrarradiculares podem ser preparados a partir de brocas com formatos universais ou a partir de brocas específicas dos fabricantes. O estudo analisou a adaptação de pinos de fibra de vidro fixados com dois tipos de cimentos resinosos a condutos preparados com dois tipos de brocas. Adicionalmente, avaliou-se a contração pós-gel dos cimentos. Utilizaram-se doze raízes de dentes incisivos bovinos (comprimento de 15 mm; n=3). Os condutos foram tratados endodonticamente e preparados com os diferentes tipos de broca: tipo Largo (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e broca White post DC (FGM Produtos Odontológicos, Joinvile, Brasil). Foram empregados 2 tipos de cimentos para fixar o pino White Post DC (FGM Produtos Odontológicos, Joinvile, Brasil): Allcem (cimento convencional dual, FGM Produtos Odontológicos, Joinvile, Brasil) e RelyX™ U200 (cimento autoadesivo dual, 3M ESPE, St Paul, EUA). Após a cimentação dos pinos, as raízes foram armazenadas em 100% de umidade à temperatura ambiente por sete dias. As amostras foram escaneadas por meio de microtomografia computadorizada (micro CT). Utilizou-se o programa NRecon para gerar imagens tridimensionais e o programa CTan para análise das mesmas quanto ao volume da linha de cimentação e à porcentagem de porosidades na linha de cimentação. A contração pós-gel (%) dos cimentos foi mensurada empregando-se extensometria (n=10). O preparo com broca largo resultou em volume de cimento (16,3 mm³, p<0,001) e em porcentagem de porosidades significativamente maiores (39,1%) do que aqueles resultantes do preparo realizado com broca específica do pino (4,2 mm³ e 24,4%, respectivamente) (p<0,001). O cimento Allcem apresentou porcentagem total de porosidades mais alta (34,1%) e valores mais altos de contração pós-gel (0,9%), quando os resultados foram comparados aos do cimento RelyX™ U200

(29,4% e 0,7%, respectivamente) ($p < 0,001$). Dessa forma, o uso do sistema broca específica/pino para o preparo intrarradicular e fixação com o cimento RelyX™ U200 apresentou resultados mais favoráveis em relação às propriedades avaliadas.

Palavras-chave: Microtomografia por raio-x, pinos dentários, cimentos de resina.

Title: Tridimensional evaluation of fiberglass posts luting line as a function of intracanal preparation and resin cement type.

ABSTRACT

Extensively destroyed and endodontically treated teeth require coronal restoration using prefabricated intraradicular fiber post or metal cast post. One cause of post failure is its loss of retention, causing detachment from the root canal. The discrepancy between the diameter of root canal and the post causes variation in the luting cement line, which determines different stress concentration inside the resin cement. Stress generated by polymerization shrinkage adversely affects the bond strength of the cement to dentin. The intraradicular canals can be prepared using conventional burs or using specific burs from the post's manufacturer. The study examined the adaptation of intraradicular fiberglass posts luted with two kinds of resin cements to root canals prepared with two types of burs. Twelve bovine incisor roots (length=15 mm, n=3) were prepared with different type of burs: Largo bur (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) or bur from White Post DC (FGM Produtos Odontológicos, Joinvile, Brazil). Two types of resin cement were used to cement the posts: Allcem (dual conventional resin cement - FGM Produtos Odontológicos, Joinvile, Brazil) and RelyX™ U200 (self-adhesive resin cement - 3M ESPE, St. Paul, USA). After posts cementations, the roots were stored in 100% humidity at room temperature for 7 days. Samples were scanned by computed microtomography (micro-CT). NRecon software was used to generate tridimensional images and CTan software analyzed the volume of cement (mm³) and porosity percentage (%) in the luting line. Additionally, the resin cements post-gel shrinkage (%) was measured by strain-gauge method (n=10). Roots prepared with Largo bur produced a significantly larger volume of cement (16.3 mm³, p<0.001) and significantly higher porosity percentage (39.1%) than those roots prepared with the specific bur (4,2 mm³ and 24,4%, respectively, p<0.001). Allcem resin cement presented higher percentage of porosity (34.1%) and higher post-gel shrinkage value (0.9%) when the results were compared to those of RelyX™ U200 (29.4% e 0.7%, respectively) (p<0,001). Thus, the use of specific bur for intracanal preparation and luting fiberglass post with RelyX™ U200 resin cement showed more favorable results regarding the evaluated properties.

Key-words: X-Ray microtomography, resin cements, reconstruction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Critérios de exclusão: dentes com ápice radicular aberto e dentes com curvatura radicular significativa, evidenciados pela seta	66
Figura 2: Espécimes seccionados no limite amelocementário	67
Figura 3: Exame radiográfico das raízes em duas angulações	68
Figura 4: Padronização do comprimento do espécime em 15 mm	68
Figura 5: Padronização do diâmetro do espécime com a broca Largo número 3	68
Figura 6: Preparo do conduto intrarradicular com a broca indicada de acordo com a tabela. A: broca específica do fabricante DC número 2. B: broca Largo número 5	70
Figura 7: A: aplicação de peróxido de hidrogênio a 35%. B: aplicação do agente silano no pino	71
Figura 8: A: aplicação de ácido fosfórico 37%. B: aplicação de sistema adesivo Ambar no interior do conduto radicular	71
Figura 9: Aplicação de hipoclorito de sódio a 2,5% previamente à cimentação com RelyX™ U200	72
Figura 10: Inserção do cimento resinoso e do pino no conduto e fotoativação	72
Figura 11: Micro-CT (<i>SkyScan</i> 1272 – Bruker) utilizado para análise do volume de cimento e das porosidades no interior do cimento e da interface dentina/cimento	75
Figura 12: inserção da amostra no interior do micro-CT	76
Figura 13: A: padronização do comprimento digital. B: ranqueamento em amostra de cinza	76
Figura 14: Definição digital da área de interesse (ROI: <i>region of interest</i>)	77
Figura 15: A: aparelho de mensuração de contração de polimerização; B: cimento sobre o extensômetro e posicionamento da fonte de luz para ativação do material	78
Figura 16: Valores médios e desvio padrão do volume de cimento resinoso após o preparo com diferentes tipos de broca e a cimentação com diferentes tipos de cimento resinoso obtidas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas comparam tipo de cimento e letras maiúsculas comparam broca	

de preparo do canal radicular	80
Figura 17: Valores médios e desvio padrão da porcentagem total de porosidades na linha de cimentação obtidas pelo teste de <i>Tukey</i> ($p < 0,05$). Letras minúsculas comparam tipo de cimento e letras maiúsculas comparam a broca de preparo do canal radicular	81
Figura 18: Valores médios e desvio padrão da contração pós-gel dos cimentos resinosos testados e as categorias estatísticas obtidas pelo teste <i>t</i> -Student ($p < 0,05$)	82

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

% – por cento

± – mais ou menos

– número

σ – tensão máxima

μA – microamper

μm^3 – micrômetro cúbico

μm – micrômetro

cm^2 – centímetro quadrado

Cu – cobre

BPA- bisfenol A

BisGMA - bisfenol A glicidil metacrilato

EDTA – ácido etilenodiamino tetra-acético

Fator C – fator de configuração cavitária

FGP – *fiber glass post*

GPa – gigapascal

g/cm^3 - grama por centímetro cúbico

h – altura

J/cm^2 - joule/centímetro quadrado

JCE – junção cimento-esmalte

Kg – quilograma

kV - quilovolt

MEV – microscopia eletrônica de varredura

Micro CT – microtomografia computadorizada

Min – minuto (s)

mm – milímetro

mm/min – milímetro por minuto

mm^2 – milímetro quadrado

mm^3 – milímetro cúbico

MPa – mega Pascal

N/mm^2 - newton por milímetro quadrado

NaClO – hipoclorito de sódio

NMF – núcleo metálico fundido

PFV – pino de fibra de vidro

pH – potencial hidrogeniônico

push-out – resistência ao cisalhamento por extrusão

ROI – *region of interest*

rpm- rotação por minuto

s – segundo(s)

CT – ciclagem térmica

TEGDMA – dimetacrilato de trietilenoglicol

UDMA – dimetacrilato de uretano

VR – realidade virtual

W/cm² – watts/centímetro quadrado

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Nome, fabricante e composição básica do pino e das brocas utilizadas e diâmetros das brocas utilizadas	69
Tabela 2: Descrição dos grupos experimentais	70
Tabela 3: Nome, fabricante, composição dos materiais utilizados e instruções para a cimentação dos pinos	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Pino de fibra de vidro	18
2.2 Falhas e degradação da linha de cimento	34
2.3 Microtomografia computadorizada – Micro CT	42
2.4 Contração de polimerização	53
3 OBJETIVOS	64
3.1 Objetivo geral	64
3.2 Objetivos específicos	64
4 HIPÓTESES	65
5 METODOLOGIA	66
5.1 Delineamento do estudo	66
5.2 Seleção dos dentes	66
5.3 Tamanho da amostra	67
5.4 Preparo dos dentes	67
5.5 Tratamento endodôntico das raízes	68
5.6 Materiais	69
5.7 Preparo do conduto intrarradicular e cimentação dos pinos intrarradiculares	70
5.8 Microtomografia computadorizada (micro CT)	75
5.9 Contração de polimerização pós-gel	77
6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	79
7 RESULTADOS	80
7.1 Volume da linha de cimento (mm ³)	80
7.2 Porcentagem total de porosidades na linha da cimentação (%)	81
7.3 Contração de polimerização pós-gel dos cimentos resinosos (%)	82
8 DISCUSSÃO	83
9 CONCLUSÃO	89
10 REFERÊNCIAS	90
ANEXO I	105

1 INTRODUÇÃO

Dentes tratados endodonticamente e com extensa destruição necessitam de restauração da porção intrarradicular e coronária. Quando se trata da porção intrarradicular, podem ser utilizados núcleos metálicos fundidos ou pinos pré-fabricados de fibra de vidro (HEYDECKE *et al.*, 2002; HATTA *et al.*, 2011). Os núcleos metálicos proporcionam menor resistência à fratura em dentes tratados endodonticamente quando comparados com pinos de fibra de vidro e fibra de quartzo (AKKAYAN *et al.*, 2002). Por outro lado, os pinos de fibra de vidro, além de garantirem estética ao tratamento, apresentam propriedades semelhantes à dentina, como módulo de elasticidade entre 18 a 47 GPa (AKKAYAN *et al.*, 2002). Além disso, apresentam módulo flexural semelhante à dentina, o que é essencial para a durabilidade e resistência à fratura da restauração, uma vez que o módulo flexural está associado à transferência e propagação de tensões do pino para a estrutura dentária (GRANDINI *et al.*, 2005b; ZICARI *et al.*, 2013). Outra vantagem dos pinos de fibra de vidro é a capacidade de adesão ao cimento resinoso (LE BELL *et al.*, 2004; HATTA *et al.*, 2011).

Os tipos de falha mais comuns na utilização de pinos pré-fabricados são a sua perda de retenção e, conseqüentemente, o seu desprendimento do conduto radicular (BALKENHOL *et al.*, 2007). Cimentos resinosos com diferentes composições químicas e técnicas de aplicação podem gerar distintas resistências de união, sendo que o cimento autoadesivo apresentou resistência à microtração inferior aos cimentos convencionais (YANG *et al.*, 2006). O estudo de Bergoli e colaboradores (2012) indicou que o uso de cimento resinoso autoadesivo parece ser uma boa alternativa para a cimentação de pinos de fibra de vidro em relação aos cimentos convencionais (devido aos valores de resistência de união e de tensão de polimerização), além de ser uma técnica menos sensível a fatores externos (LOGUERCIO *et al.*, 2010) e ser mais fácil e rápida de realizar (MARCHESIA *et al.*, 2012).

Durante a cimentação adesiva do pino intrarradicular, quanto maior a discrepância entre o diâmetro do canal e o diâmetro do pino, maiores serão os níveis de tensões residuais, devido ao maior volume de cimento (SPAZZIN *et al.*, 2009; ANCHIETA *et al.*, 2012; LAZARI *et al.*, 2013). Segundo D'Arcangelo *et al.* (2007), a linha de cimento entre dentina radicular e pino deve apresentar valores entre 0,1 a

0,3 mm de espessura, sendo que os dados estão de acordo com GRANDINI *et al.* (2005). Existe no mercado uma variedade de brocas indicadas para o preparo do conduto radicular e de como indicá-las, sendo que a aplicação das mesmas depende: das dimensões do conduto radicular, da forma e do tipo de broca a ser empregada e também do tipo do pino escolhido (BITTER & KIELBASSA, 2007).

A contração de polimerização é resultado de três eventos que ocorrem de forma simultânea: a contração de polimerização dos monômeros, a expansão térmica provocada pela fonte de luz e a expansão térmica provocada pela reação exotérmica do material (SAKAGUCHI *et al.*, 1997). A contração de polimerização ocorre quando as moléculas de monômeros unem-se quimicamente, formando as cadeias poliméricas e gerando uma diminuição dos espaços entre as mesmas. Essa reação leva a um encurtamento de cadeias e, conseqüente, à contração de polimerização (ANUSAVICE, 1998). Quando se compara o valor de contração de polimerização dos cimentos resinosos, verifica-se que quanto maior a contração pós-gel, maior será a tensão de contração e menor a resistência de união do sistema restaurador (BRAGA *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2015). A tensão de contração pode ser capaz de gerar lacunas/fendas na interface, sendo que a maior incidência de falhas associadas à tensão de contração é na interface dentina/cimento (BRAGA *et al.*, 2002).

O aumento das tensões de contração está associado ao valor crescente do fator de configuração (fator C), sendo que restaurações em resina composta que apresentam fator C elevado (fator C > 2,1), apresentam maiores valores de tensão de contração, que podem alterar a adesão dentinária (FEILZER *et al.*, 1987; BOILLAGUET *et al.*, 2003). O fator C é considerado alto em dentina radicular (C=5) já que há uma quantidade limitada de área de superfície não aderida em comparação às áreas de superfície aderidas (YANG *et al.*, 2006; EKAMBARAM *et al.*, 2014).

O uso de métodos não destrutivos como a microtomografia computadorizada (micro CT) para estudos ósseos e de estruturas dentárias tem ganhado espaço na literatura (CLEGHORN *et al.*, 2008; ZEIGER, *et al.*, 2009; VERSIANI *et al.*, 2012; LORENZONI *et al.*, 2013; ALFARO *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2015;). Com o uso do micro CT, as diferenças de radiopacidade entre as estruturas intrarradiculares geram contrastes e podem ser reconstruídos tridimensionalmente e gerar a análise precisa de cada estrutura, sendo capaz de avaliar o volume de cada estrutura, presença de

bolhas na linha de cimentação, falhas na linha de cimentação e fendas (ZEIGER *et al.*, 2009; VERSIANI *et al.*, 2012; LORENZONI *et al.*, 2013). Portanto, essa metodologia pode gerar análises mais compreensivas de pinos intrarradiculares. Estudos que analisaram a cimentação de pinos intrarradiculares por meio do uso de micro-CT confirmaram a validade do uso deste método (LAZARI *et al.*, 2013; LORENZONI *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2015). Esse método, combinado com a reconstrução 3D, permite que o arranjo interno da amostra possa ser examinado diversas vezes, além de permitir que a amostra seja analisada em metodologias adicionais e sirva como base para uma análise mais aprofundada (SWAIN & XUE, 2009; SILVA *et al.*, 2015).

Os condutos intrarradiculares podem ser preparados a partir de brocas com formatos universais ou a partir de brocas específicas dos fabricantes. Esse sistema, por sua vez, possui pinos pré-fabricados baseados no formato e diâmetro da broca. Segundo os fabricantes, o uso do *kit* White post DC indica uma otimização da anatomia endodôntica e preservação da estrutura dentária. Não há dados conclusivos sobre o efeito de diferentes tipos de preparo de conduto e respectivos efeitos sobre cimentos utilizados na fixação de pinos intrarradiculares de fibra de vidro. Torna-se relevante investigar a linha de cimentação quando brocas e cimentos distintos são utilizados para preparar condutos a fim de se utilizar pino de fibra de vidro para retenção do sistema restaurador.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PINO DE FIBRA DE VIDRO

Ao avaliar a resistência à fratura de uma placa de vitrocerâmica cimentada a um bloco de compósito resinoso a partir da espessura da película de cimento para dois tipos de cimento, Scherrer e colaboradores (1994) realizaram um estudo com cimento de fosfato de zinco e cimento resinoso. Foram avaliados o módulo de elasticidade e o modo de fratura. Quando a cimentação foi realizada com cimento resinoso houve uma redução gradual da resistência à fratura quando a espessura de cimento foi de 300 microns ou mais. O estudo sugere que a resistência à fratura não pode ser afetado pela espessura de cimento, como se pensava anteriormente.

Com objetivo de comparar a resistência à fratura dos pinos intrarradiculares, Akkayan *et al.* (2002) realizaram um estudo *in vitro* para comparar o desempenho de quatro tipos de pinos (titânio, fibra de quartzo, fibra de vidro e zircônia). Um total de quarenta dentes humanos unirradiculares extraídos foram utilizados (n=10 por grupo). Todos os pinos foram cimentados com o mesmo sistema adesivo e cimento resinoso convencional. Os resultados indicaram que dentes restaurados com pinos de fibra de quartzo apresentaram maior resistência à fratura, enquanto dentes restaurados com pinos de fibra de vidro e zircônia apresentaram valores próximos e estatisticamente significantes. Porém, os pinos de titânio e zircônia levaram a fraturas catastróficas. Dessa forma, os autores concluíram que os de pinos de quartzo e fibra de vidro produziram uma boa resistência à fratura, além de fraturas favoráveis a possibilidade de reparo.

Para avaliar o efeito que a espessura de cimento resinoso apresenta sobre a retenção de pinos de fibra de vidro pré-fabricado, Hagge *et al.* (2002) realizaram estudo em 64 dentes unirradiculares seccionados no limite amelocementário, tratados endodonticamente e obturados com guta-percha e cimento resinoso à base de eugenol 7 dias antes da cimentação. Todos os espécimes foram divididos em 4 grupos de 16 amostras cada, sendo que 10 mm de comprimento do conduto radicular foram preparados com brocas de 4 diâmetros diferentes: 1- broca Parapost número 5, 2- broca Parapost número 5,5, 3- broca Gates-Gliden número 6, 4- broca Parapost número 6. Pinos de fibra do sistema Parapost número 5 foram cimentados com cimento resinoso Panavia 21 OP. Após armazenamento de 48 horas, as amostras foram montadas em tubo de PVC. A partir de máquina de teste universal

os espécimes foram submetidos a teste de tração a 1 mm/min, com dados em kg. O estudo revelou que o grupo 3 teve valor de retenção média significativamente superior que os grupos 1 e 2, e que o grupo 4 apresentou valores de retenção médio superior ao grupo 1. O estudo concluiu que os pinos cimentados com Panavia 21 OP apresentaram maiores valores de retenção quando os espaços de preparo para pino tiveram dimensões superiores em relação aos condutos preparados com o sistema pino/broca do fabricante.

Por meio de revisão sistemática sobre pinos intrarradiculares, Heydecke *et al.* (2002), afirmaram que restaurações diretas com pinos pré-fabricados estão se tornando cada vez mais popular. A revisão de literatura foi realizada para avaliar as condições clínicas e desempenho *in vitro* de pinos pré-fabricados e pinos metálicos em dentes unirradiculares tratados endodonticamente. A revisão foi baseada em uma pesquisa em bases eletrônicas e resultou em 1773 referências. Após critérios de inclusão, 10 estudos *in vitro* e 6 estudos *in vivo* permaneceram no estudo e foram revisados criteriosamente. Em relação às fraturas, os estudos *in vitro* não revelaram nenhuma diferença estatisticamente significativa entre pino pré-fabricado e pino metálico. Foi realizada meta-análise dos dados e sugeriu que não há diferença estatisticamente significativa nas fraturas dos dois grupos. Não foi possível realizar análise de sobrevivência para os estudos *in vivo*. Três estudos *in vitro* afirmaram que a sobrevivência de pinos intrarradiculares é de 87,2%, 88,1% e 86,4% após 72 meses. Ensaio clínicos randomizados sobre este tema não foram encontrados, mas os autores afirmaram que esses estudos devem ser realizados para verificar os possíveis resultados encontrados.

Um estudo realizado por Bouillaguet *et al.* (2003), tiveram objetivo de testar a hipótese de que a resistência de união de cimento à dentina radicular é reduzido em função do fator de configuração, do processo de polimerização e do tipo de material utilizado na cimentação, além de ter menor resistência de união na região apical. Foram utilizados caninos e pré-molares humanos preparados para cimentação de pino intrarradicular utilizando Single Bond/Rely X ARC, ED Primer/Panavia F, C&B Metabond, e Fuji Plus. As amostras foram divididas em dois grupos. Todas as raízes foram seccionadas em 0,6 mm de espessura. O valor de micro-tração de cada placa foi calculado como força da ruptura dividida pela área de superfície da secção transversal. A contração de polimerização e a dificuldade de acesso adequado ao

ápice conduto radicular podem complicar a formação de ligações de alta resistência ao cimentar pinos intrarradiculares com cimentos resinosos.

A partir de um estudo *in vitro*, Rosentritt *et al.* (2004), avaliaram e compararam a resistência à fratura e a adaptação marginal de coroa total de cerâmica pura, a partir de diferentes sistemas de pinos intrarradiculares: pino de cerâmica, pino de fibra de vidro reforçado (FRC), pino de titânio e grupo controle sem presença de pino intrarradicular. As coroas totais em cerâmica pura foram cimentadas através de cimentação adesiva. Após testes em laboratório, a resistência à fratura foi determinada. A adaptação marginal da restauração e a interface cimento/dente e cimento/coroa foi avaliada com microscopia eletrônica de varredura dos espécimes. O grupo controle, que não foi restaurado com nenhum tipo de pino intrarradicular, não apresentou diferença significativa para resistência à fratura em relação ao grupo de pino de titânio. Os grupos de pino de cerâmica e de pino de fibra de vidro apresentaram valor significativamente maior de resistência à fratura quando comparado ao grupo controle. Todos os materiais apresentaram *gap* entre a interface cimento/dente ou cimento/coroa, sendo que o maior valor de *gap* foi encontrado no sistema de pino de titânio (14%) na interface cimento/coroa e no sistema de pino de cerâmica (12%) na interface cimento/dente. O estudo concluiu que os sistemas de pino de cerâmica e pino de fibra de vidro podem ser considerados alternativos para o uso de pinos de titânio.

Com objetivo de avaliar a adesão de cimento resinoso a PFV com matriz reticulada ou rede polimérica semi-interpenetrante (IPN), Le Bell *et al.* (2004) utilizaram quatro tipos de pinos pré-fabricados com matriz de polímero reticulado e dois tipos de pinos pré-fabricados com matriz de polímero semi-IPN, testadas individualmente. Para o grupo controle foi utilizado pino de titânio serrilhado. Em todos os grupos, utilizou-se cimento resinoso auto-adesivo. Realizou teste de *pull-out* por meio de máquina de ensaio universal após armazenamento dos discos em termociclagem (5°C/55°C, 6000x) em água. A área de adesão foi avaliada em microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os pinos com matriz de polímero semi-IPN apresentaram valores de força significativamente superior em relação aos pinos pré-fabricados lisos e com matriz polimérica reticulada ($p < 0,004$). A maior força de *pull-out* foi obtida com pinos de titânio serrilhados (controle). O tipo de pino e a termociclagem apresentaram efeito significativo sobre a força de *pull-out* (ANOVA $p < 0,001$ e $p < 0,007$, respectivamente). As fotomicrografias produzidas pelo MEV

confirmaram os resultados do *pull-out*. O estudo afirmou que pinos com matriz de polímero semi-IPN apresentaram melhor adesão ao cimento resinoso quando comparado com pinos pré-fabricados com matriz de polímero reticulado, embora a força de *pull-out* não tenha sido tão elevada como a encontrada pelo grupo controle.

Um estudo para avaliar microscopicamente as características estruturais dos tipos de pinos intrarradiculares e diferentes tipos de resina composta utilizadas na reconstrução dental foi realizado por Monticelli *et al.* (2004). Foram utilizados 40 dentes incisivos superiores humanos tratados endodonticamente e preparados para receber um pino de fibra de vidro (Aesthetic Post Plus, RTD). Utilizaram o sistema adesivo One-Step (Bisco) e cimento resinoso C&B (Bisco) para cimentação do pino intrarradicular. As amostras foram divididas aleatoriamente em oito grupos: 1-Z100 (3M ESPE-), 2-Lumiglass (IDT), 3-Gradia (GC), 4-Build-it! (Jeneric Pentron). Nos grupos 5-8 os mesmos materiais foram utilizados juntamente com um compósito pré-anatomizado (Composipost, Core Form, RTD). Os espécimes foram cortados perpendicularmente ao longo eixo e processados para observação em microscopia eletrônica de varredura. O objetivo da metodologia foi observar presença de espaços vazios/bolhas no interior da resina, além de lacunas na interface. Os resultados foram quantificados e apresentaram significância estatística com $p < 0,05$. O grupo 3 (Gradia-GC) apresentou maior integridade de interface e o grupo 1 (Z100-3M ESPE) apresentou maior adaptação do pino. O grupo 4 (Build-it-Jeneric Pentron) foi o único material que apresentou melhor desempenho quando combinado com o compósito pré-anatomizado.

A partir de uma avaliação microscópica, Monticelli *et al.* (2005), avaliaram as características de pinos de fibra de vidro com diferentes sistemas de resina composta para reconstrução coronária. Utilizaram 55 dentes humanos (incisivos superiores) tratados endodonticamente e com condutos preparados para pino de fibra de vidro (Aesthetic Post Plus) cimentados com cimento resinoso C&B. Os espécimes foram divididos em 11 grupos com diferentes sistemas de reconstrução de resina composta: 1-Z100; 2: Light-Core; 3: Lumiglass; 4: Gradia Direct; 5: Build-It!; 6: Tetric Ceram; 7: Biscore self-curing; 8: Unifil Flow; 9: Definite Flow; 10: Tetric Flow; 11: AEliteFlo. Os espécimes foram cortados perpendicularmente ao longo eixo do dente e avaliados por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foram analisadas a presença de espaços vazios e bolhas e a interface entre pino/resina, de forma quantitativa, com significância de $p < 0,05$. O estudo concluiu que

reconstruções a base de materiais com maior viscosidade e fluidez apresentaram maior integridade e adaptação ao pino.

Com a análise por MEV, Grandini *et al.* (2005), verificaram a espessura da camada de cimento e sua uniformidade em pinos de fibra de vidro anatomizados e pinos de fibra de vidro padrão. Total de 20 dentes anteriores superiores extraídos, tratados endodonticamente e preparados para receber o pino de fibra de vidro. O grupo 1 (n=10) recebeu pino de fibra de vidro translúcida (DT) cimentados com cimento resinoso de dupla ativação (DuoLink) após aplicação do sistema adesivo One-Step. No grupo 2 (n=10) pinos de fibra de vidro anatomizados (Anatomic Post'n Core) foram cimentados. Previamente, adicionou-se uma camada de resina composta para permitir um realinhamento pré-cimentação para adequar o pino ao espaço endodôntico. Para a cimentação, utilizou-se a mesma combinação de cimento e resina do grupo 1. Todas as raízes foram seccionadas perpendicularmente e preparadas para observação em MEV. No nível de 1 mm (coronal), 4,5 mm (médio) e 8 mm (apical) de cada raiz, foram medidas a espessura de cimento, a presença de bolhas no interior do cimento e a interface foi avaliada. Verificou-se que a camada de cimento foi significativamente mais fina e uniforme ao nível coronário e médio da raiz. Em ambos os grupos, a presença de espaços vazios e bolhas foram detectados no interior do cimento e na interface entre pino de fibra de vidro e cimento. Conclui-se que a espessura de cimento resinoso foi significativamente menor no grupo de pino anatômico (grupo 2) do que no grupo controle (grupo 1), exceto no terço apical do canal, onde não houve diferença estatisticamente significativa.

Dentes tratados endodonticamente são rotineiramente restaurados com pinos intrarradiculares como uma escolha terapêutica, considerando fatores como propriedades mecânicas, estética e longevidade. Grandini *et al.* (2005b), apresentaram um relatório clínico preliminar sobre o uso de pinos de fibra e resina composta direta para restaurar dentes tratados endodonticamente. Foram selecionados 38 dentes anteriores e 62 dentes posteriores após endodontia. O protocolo inclui o tratamento endodôntico, pino de fibra translúcido (pino DT), sistema adesivo de um passo (One Step, Bisco) e cimento resinoso dual (Duolink, Bisco). A restauração em resina composta foi realizada com resina micro-híbrida (Gradia Direct, GC) por técnica de estratificação. Os pacientes foram avaliados após 6, 12, 24 e 30 meses, e as restaurações avaliadas de acordo com critérios clínicos e

radiográficos pré-determinados. A avaliação confirmou bom desempenho clínico das restaurações. Concluiu-se que restaurações em dentes tratados endodonticamente com pino de fibra e resina composta é uma opção de tratamento que, à curto prazo, conserva a estrutura dental remanescente e resulta em boa adesão do paciente.

Com objetivo de avaliar a força de micro-tração de três cimentos resinosos à dentina humana, Yang *et al.* (2006), utilizaram discos de dentina de terceiros molares não cariados preparados em diferentes regiões (s: dentina superficial, d: dentina profunda, c: dentina cervical) e divididos em grupos de acordo com a localização anatômica e ao cimento resinoso (Super-Bond C&B: SB; Panavia F 2.0: PF; RelyX Unicem: RU): SB-s, SB-d, SB-c; PF-s, PF-d, PF-c; RU-s, RU-d, RU-c. Os cimentos resinosos foram utilizados de acordo com a instrução do fabricante. Após armazenamento de 1 ou 3 dias, os espécimes foram submetidos a carga de 7,5 N com velocidade de 1 mm/min. A análise de interface foi realizada por MEV. O estudo demonstrou que a dentina superficial apresentou valor de micro-tração significativamente maior quando comparado à dentina profunda ou cervical para os três tipos de cimento resinoso. SB-s e PF-s falharam de forma coesiva. A micro-tração de SB-d e SB-c foram significativamente maiores do que PF e RU. Os grupos RU falharam principalmente no interior da dentina desmineralizada. MEV mostrou que falhas adesivas nos grupos SB e PF ocorreram na parte superior da camada híbrida, o que não foi observado nos grupos RU. Pode-se concluir que diferentes cimentos resinosos e diferentes composições químicas podem gerar alterações nas forças de ligação para diferentes regiões de dentina humana.

Com objetivo de avaliar a influência da espessura de cimento resinoso na resistência de união de um sistema composto por pino de fibra de vidro à dentina radicular, Perez *et al.* (2006), realizaram estudo com 18 dentes humanos unirradiculares seccionados em comprimento radicular de 16 mm e tratados endodonticamente. Os espécimes foram distribuídos aleatoriamente entre 2 grupos (n=9): 1- baixa espessura de cimento, PFV número 3; 2- alta espessura de cimento, PFV número 1. Os grupos receberam o mesmo tratamento prévio e técnica de cimentação. Os espécimes foram seccionados, obtendo 5 fatias com espessura de 1,5 mm. Para avaliação da espessura do cimento foram realizadas fotografias a partir de microscópio óptico e análise das imagens. Cada amostra foi testada pelo push-out para resistência de união. Apesar de verificarem que a espessura do cimento foi significativamente diferentes entre os grupos, não houve diferença

estatística em relação a resistência de união. Concluíram que a espessura de cimento não afeta significativamente a resistência de união, sendo que o aumento da espessura da linha de cimento resinoso não prejudica a resistência de união do tratamento.

A partir de um estudo *in vitro*, Dietschi *et al.* (2006), avaliaram a influência das propriedades físicas dos diferentes tipos de materiais para pinos intrarradiculares e sua adaptação após carga mecânica cíclica. Foram utilizados dentes decíduos bovinos tratados endodonticamente e restaurados com 3 pinos intrarradiculares anisotrópicos, aqueles em que as propriedades ópticas dependem da direção e da diferença nos índices de refração (pino de fibra de vidro, quartzo e quartzo-carbono) e 3 pinos isotrópicos, aqueles em que as propriedades são as mesmas em qualquer direção (zircônia, aço inoxidável, titânio). As amostras foram submetidas a três fases sucessivas de carga: 250.000 ciclos a 50 N, 250.000 a 75 N, e 500 mil a 100 N - a uma taxa de 1,5 Hz. A adaptação da restauração intrarradicular foi avaliada em microscopia eletrônica de varredura antes e durante o carregamento (nas margens) e após o carregamento (nas margens e interfaces internas). Seis amostras adicionais foram fabricadas para análise de micromorfologia por microscopia confocal. Foi verificado que a carga mecânica aumentou a proporção de lacunas marginais em todos os grupos, sendo que os pinos de fibra de quartzo-carbono apresentaram menos proporção de lacunas/gap (7,11%) em comparação com os pinos de metal ou de fibra (11,0% para 19,1%). Em relação à adaptação interna, o deslocamento entre dentina e pino intrarradicular variou de 21,69% (quartzo-carbono) até 47,37% (aço inoxidável). Os pinos com materiais isotrópicos apresentaram deslocamento na interface pino/cimento. A microscopia confocal revelou grandes lacunas associadas à camada híbrida e reduzidos *tag's* de resina. O estudo concluiu que, independente da rigidez do material, os pinos isotrópicos apresentaram menor eficácia que os pinos de fibras (anisotrópicos) para estabilidade do sistema restaurador.

Para avaliar o efeito do grau de incompatibilidade entre diâmetro do pino e diâmetro do espaço após preparo do conduto na resistência de união, Perdigão *et al.* (2007), realizaram um estudo com 32 incisivos centrais e caninos humanos extraídos e dividiram em 4 grupos: 1- canal preparado com broca DT Light Post número 1 (controle), 2- canal preparado com broca DT Light Post número 2, 3- canal preparado com broca DT Light Post número 3, 4- canal preparado com broca Gates

Gliden número 6. Todos os espécimes receberam pino Light Post número 1 e sistema adesivo One-Step e cimento Hi-X. Foi realizado teste *push-out* em três seções de cada raiz para medir a resistência de união. Dois dentes extras para cada grupo foi preparado da mesma forma e processados para observação em MEV. O fator "espaço de preparo" não resultou em diferença estatisticamente significativa na resistência de união. O fator "região da raiz", para o terço coronário houve força de adesão estatisticamente superior em relação ao terço apical. O terço médio não apresentou valores de resistência de união estatisticamente superior aos terços coronal e apical. De acordo com as imagens avaliadas no MEV, algumas áreas do sistema radicular exibiram guta-percha residual, resultando no descolamento da interface entre cimento resinoso e dentina. Foi verificada áreas da dentina com hibridização incompleta em todos os grupos. O estudo concluiu que o diâmetro do espaço após preparo do conduto não afetou a resistência de união por *push-out*. A adesão a nível coronal é mais confiável em relação ao nível apical. Concluíram que a presença de guta-percha residual e a hibridização da dentina deficiente pode ter resultado em ausência/incompleto vedamento da interface cimento resinoso/dentina.

Por meio de revisão de literatura, Bitter e Kielbassa (2007), analisaram os dados sobre a cimentação adesiva de pinos de fibra de vidro para fornecer evidências para o procedimento clínico de restauração em dentes tratados endodonticamente. Foram obtidos dados que se associaram a ligação adesiva à dentina radicular, agentes de cimentação, pinos de fibra de vidro (PFV) *in vitro* e desempenho *in vivo*. Os dados foram coletados nas bases: PubMed, Scopus, Cochrane Library a partir dos termos "*post-endodontic restoration*", "*fiber post*", "*adhesive luting*", "*root canal dentin*", "*clinical study*" e "*pre-treatment fiber post*". Os trabalhos publicados até setembro de 2007 foram selecionados e as referências mais relevantes foram escolhidas. O estudo apresentou que PFV parece ter se tornado cada vez mais popular para restauração de dentes tratados endodonticamente. Em comparação com pinos metálicos, os pinos de fibra revelaram modo de fratura reparável. O comportamento de adesão entre pino/cimento/dentina é apresentado em diversas formas, podendo ser melhor através de vários procedimentos pré-tratamento. No entanto, uma ideal adesão à dentina ainda é um desafio. A maioria dos estudos clínicos que avaliaram a taxa de sobrevida revelou resultados promissores, mas os fatores de risco não foram

estudados intensamente. Além disso, os ensaios clínicos randomizados de longo prazo são escassos.

Para avaliar o tempo de sobrevida de pinos pré-fabricados, pinos metálicos e avaliar a influência de variáveis no risco de falhas, Balkenhol *et al.* (2007), realizaram um estudo retrospectivo longitudinal durante 10 anos em pacientes. Foram analisados arquivos de 565 pacientes, que foram submetidos a 802 tratamentos de pinos intrarradiculares. Os parâmetros analisados foram: tempo do pino intrarradicular (pré-fabricado ou metálico), técnica de fabricação (direta ou indireta), tipo de dente (anterior, pré-molar ou molar), número de pinos intrarradiculares, material de cimentação e causa da falha. O tempo de sobrevida dos pinos foi de 7,3 anos. A taxa de falhas acumulativas foi de 11,2%. A maior causa de falha foi a perda de retenção do pino. Ligas de ouro geraram menor risco de fracasso quando comparadas com ligas semipreciosas. O tipo de tratamento teve influência significativa na probabilidade de sobrevida. Pinos pré-fabricados e pinos metálicos têm um bom prognóstico em longo prazo, sendo a perda de retenção a causa mais comum de falha. Não é possível compensar a baixa durabilidade com pinos com baixo atrito com o uso de cimento ionômico de vidro.

Um estudo de Plotino *et al.* (2008), avaliaram o efeito do uso de pinos de fibra de vidro pré-moldados e como esse procedimento de pré-moldagem afeta a integridade dos pinos. Grupo 1 (n=10) foram utilizados pinos de fibra de vidro pré-moldados; grupo 2 (n=10) foram utilizados pinos de fibra de carbono; grupo 3 (n=10) foram utilizados pinos de fibra de vidro anatomizados, os quais foram moldados para garantir o formato mais próximo possível à anatomia oval do conduto radicular. A partir de um pino de fibra de vidro de 2,5 mm de diâmetro, um novo pino foi modelado de forma a ocupar todo o espaço intrarradicular utilizando um guia previamente criado. Análises microscópicas (microscópio estereoscópico e microscópio eletrônico de varredura óptica) revelaram características semelhantes em todos os grupos. Todas as superfícies tinham aspectos regulares após o corte com a broca diamantada, sendo que alguns exemplares apresentavam a presença de *smear layer*. O estudo concluiu que a modulação de um pino de fibra de vidro pelo uso de uma broca diamantada não mostrou perda da integridade do pino. Dessa forma, os pinos de fibra de vidro podem sofrer pequenas alterações e adaptações em seu formato, sem perder a integridade superficial e suas características.

Para avaliar a distribuição de tensão influenciada por dois tipos de pino, seus respectivos módulos de elasticidade e espessura de cimento, Spazzin *et al.*, (2009) utilizaram um incisivo central superior. Realizaram o método de elemento finito para criar um modelo tridimensional do dente e de estruturas adjacentes. Foi aplicado pressão de 2,16 N/mm² na face palatina, sendo aplicadas na região do pino de zircônia e do pino de fibra. A distribuição de tensão analisada no pino, na dentina e no cimento, sendo que o pino de fibra e a cerâmica em zircônia foram fixados com cimentos resinosos com módulo de elasticidade diferentes (7, e 18,6 GPa) e diferentes espessuras de linha de cimento (70 e 200 µm). Os diferentes materiais para pino apresentaram influência significativa na distribuição de tensões, sendo apresentada menor concentração de tensão no pino de fibra. O cimento com maior módulo de elasticidade gerou maiores tensões internas. As diferentes espessuras de cimento não geraram alterações significativas.

Dois novos sistemas de pino de fibra de vidro foi avaliado por Santos *et al.* (2009), a partir de sua capacidade de vedamento do conduto radicular. Total de 36 dentes unirradiculares extraídos foram tratados endodonticamente e divididos aleatoriamente em dois grupos de novos sistemas de pino de fibra de vidro: 1- pino de fibra de vidro E-glass based, evesStick-POST, cimentado com cimento resinoso ParaCem Universal DC (EV); 2- pino de fibra de vidro RelyX, cimentado com cimento resinoso RelyX Unicem auto-adesivo (RX). O grupo controle foi restaurado com um pino de fibra de vidro ParaPost Fiber Lux, cimentado com ParaCem Universal DC (PP). As amostras foram imersas em solução de nitrato de prata amoniacal a 50% durante 24 horas, seguido por 8 horas em solução de revelação. As raízes foram seccionadas em discos de 1 mm de espessura perpendicularmente ao longo eixo do dente. Os espécimes foram processados para observação em microscopia eletrônica de varredura. A profundidade de infiltração de prata dentro do canal radicular foi medida nas fileiras/discos de 0 a 8. Para cada disco, a infiltração de prata foi medida como porcentagem de falha na interface adesiva. Em relação à região apical da raiz, o grupo RX apresentou menor grau de infiltração de prata, mas não foi estatisticamente diferente do valor apresentado pelo grupo EV ($p < 0,148$). O grupo RX resultou em uma profundidade inferior à infiltração de prata quando comparado com o grupo controle PP ($p < 0,023$). O grupo EV apresentou profundidade de penetração estatisticamente semelhante ao PP ($p = 0,492$). Embora a porcentagem média total de infiltração de prata na interface cimento-dentina resina tenha sido

estatisticamente semelhante para todos os grupos ($p = 0,632$), o grupo EV apresentou maior número de discos com infiltração de prata (23 em 96), seguido dos grupos PP (21 em 96) e RX (14 em 96). Nenhuma das amostras apresentou vazamento em torno da interface cimento/pino de fibra de vidro. O estudo concluiu que o sistema de RX, que utiliza um novo protocolo auto-adesivo simplificado, resultou em uma profundidade mais baixa de infiltração de prata do que o grupo de controle PP. O grupo EV não apresentou diferença significativa em relação ao grupo controle PP.

Para avaliar as cargas de fratura em dois sistemas de pinos de fibra de vidro, Hatta *et al.* (2011), utilizou 62 dentes bovinos ($n=8$ por grupo) cortados em comprimentos de raízes de 15 mm. Foram divididos em três grupos: pino de fibra de vidro fotopolimerizável antes da cimentação (A); pinos de fibra de vidro unidos para preencher todo o diâmetro do conduto radicular e fotopolimerizável antes da cimentação (B); pino de fibra de vidro inserido no conduto radicular preenchido com cimento resinoso ParaCem (C). Os espécimes foram divididos em três subgrupos de acordo com o comprimento do pino: subgrupo 1: 10 mm; subgrupo 2: 7,5 mm; subgrupo 3: 5,0 mm. Após a cimentação, a coroa foi reconstruída com resina composta (Filtek Z250). Os espécimes foram carregados com inclinação de 45° na face palatina a velocidade de 1,0 mm/min. A primeira queda de carga e cargas máximas foram analisadas estatisticamente por análise de variância e teste de Tukey. A carga máxima do grupo B (433 N) e C (418 N) são significativamente mais elevadas do que o grupo A (284 N) ($p < 0,01$). Pinos curtos (5 mm) apresentaram cargas de fratura mais elevadas em todos os grupos principais, especialmente no grupo C. A partir do estudo, conclui-se que o sistema de pino de fibra com mesmo diâmetro do conduto radicular mostra maior força do que apenas um pino de fibra de vidro. Conclui-se que quanto maior a semelhança entre diâmetro do conduto e do pino, maior será a carga máxima de fratura.

Um trabalho de Anchieta *et al.* (2012), avaliaram o comportamento mecânico da interface dentina/cimento/pino em 4 incisivos centrais superiores, através de elementos finitos, e comparou as forças geradas na técnica convencional de cimentação de pino e no pino anatomizado. O estudo utilizou 4 incisivos centrais superiores cimentados com pino de fibra de vidro com 2 técnicas: FGP1: 1 mm de diâmetro de pino de fibra convencional; CFGP1: 1 mm de diâmetro anatomizado em resina composta; FGP2: 2 mm de diâmetro de pino de fibra convencional; CFGP2: 2

mm de diâmetro anatomizado em resina composta. Aplicou carga de 1N a 45° em relação ao longo eixo do dente na face lingual. Contração de polimerização de 1% foi simulada no cimento resinoso. Houve padronização do ligamento periodontal em três eixos ($X=Y=Z=0$). A tensão principal máxima (r_{max}), tensão mínima (r_{min}), tensão de Von Mises/de contração (RVM) e tensão de cisalhamento (r_{shear}) foram calculados para a interface dentina/cimento e cimento/pino usando software de elementos finitos. O pico de tensão máxima no cimento ocorreu inicialmente em CFGP1 (1,77 MPa), seguido por CFGP2 (0,99), FGP2 (0,44) e FGP1 (0,2). A tensão de contração (RVM) da camada de cimento ocorreu: FGP1 (35 MPa), FGP2 (34), CFGP1 (30,7) e CFGP2 (30,1). O estudo concluiu que a interface de pinos anatomizados apresentou concentração de tensão mais elevadas. A interface de pinos convencionais apresentou maior tensão devido à maior contração de polimerização do cimento resinoso.

Ferrari *et al.* (2012), realizaram um ensaio clínico randomizado por seis anos com análise de sobrevivência de pré-molares tratados endodonticamente sem pino intraradicular, com pino intraradicular personalizado ou pinos de fibra pré-fabricados. As restaurações foram avaliadas clinicamente e radiograficamente até 72 meses. Os autores concluíram que a inserção de pinos de fibra pré-fabricados contribuiu de forma mais significativa para a sobrevivência dos pré-molares quando comparado aos pinos personalizados ou àqueles dentes que não receberam pino no conduto radicular.

Para avaliar o efeito da ciclagem mecânica e estratégias de cimentação na resistência de união por teste *push-out*, Bergoli *et al.* (2012), utilizaram 80 dentes bovinos inferiores seccionados em 16 mm de comprimento, preparado endodonticamente a 12 mm e embutidos em resina acrílica. Os espécimes foram distribuídos em 8 grupos ($n=10$): Gr1 – Scotchbond Multi Purpose + RelyX ARC; Gr2 – Scotchbond Multi Purpose + RelyX ARC + ciclagem mecânica; Gr3 – AdheSE + Multilink Automix; Gr4 – AdheSE + Multilink Automix + ciclagem mecânica; Gr5 – ácido fosfórico + RelyX U100 (cimento auto-adesivo); Gr6 – ácido fosfórico + RelyX U100 + ciclagem mecânica; Gr7 – RelyX U100; Gr8 – RelyX U100 + ciclagem mecânica. O estudo teve como resultado que a ciclagem mecânica não afeta a resistência de união por *push-out* ($p=0,236$) e a estratégia de cimentação influencia os valores de *push-out* ($p<0,001$). A cimentação com RelyX U100 e Scotch Bond Multi Purpose + RelyX ARC apresentaram valores de resistência de união superiores

pelo teste. A tensão de polimerização foi afetada pelo tipo de cimento ($p=0,0104$): o cimento auto-adesivo RelyX U100 apresentou valores mais baixos, RelyX ARC apresentou valores mais elevados, e Multilink Automix apresentou valores estatisticamente similares aos outros dois cimentos. O estudo concluiu que os cimentos auto-adesivos parecem ser uma boa alternativa para cimentação de pinos de fibra de vidro devido às maiores forças de ligação pelo teste *push-out* e valores de tensão de polimerização inferiores.

O tempo de cura dos cimentos endodônticos pode influenciar a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina. Mesquita *et al.* (2013), selecionaram 40 dentes que foram tratados endodonticamente, obturados com cimento de hidróxido de cálcio e divididos em dois grupos de acordo com o tempo decorrido da obturação para a cimentação do PFV ($n=20$): 1- imediatamente (PFV cimentado imediatamente após a obturação endodôntica), 2- após 7 dias (PFV cimentado após 7 dias da obturação endodôntica). As raízes foram subdivididas de acordo com o cimento resinoso utilizado (RelyX ARC ou RelyX Unicem), armazenadas durante 24 horas e seis fatias de 1 mm de espessura do terço cervical, médio e coronal foram obtidos para o teste de *push-out* (0,5 mm/minuto). Para ambos os cimentos resinosos a resistência de união foi significativamente superior quando os pinos foram cimentados sete dias após o tratamento endodôntico. RelyX Unicem apresentou valores de resistência de união significativamente superiores que o cimento RelyX ARC para ambos períodos de cimentação. O estudo concluiu que a cimentação de PFV deve ser feita após a presa completa do cimento endodôntico e o cimento resinoso auto-adesivo é preferível para a cimentação de pinos de fibra de vidro.

Devido às diferenças morfológicas ao longo do conduto radicular, danos graves estruturais ou extenso preparo endodôntico podem gerar diferenças na espessura de cimento endodôntico na cimentação de PFV com cimento resinosos. Um estudo de Nova *et al.* (2013), avaliaram a influência da variação da espessura da camada de cimento em diferentes cimentos resinosos na força de união por *pull-out*. Amostra de 100 raízes bovinas foram incluídos em resina acrílica e distribuídos aleatoriamente em dois grupos: 1- canais preparados com broca número 1 (1,3 mm) do sistema de pino RelyX, 2- canais preparados com broca número 3 (1,9 mm) do sistema de pino RelyX. Cada grupo foi subdividido em cinco e o pino de fibra de vidro RelyX número 1 (0,7 mm) foram cimentados com diferentes cimentos resinosos. As amostras foram submetidas ao teste de *pull-out* em máquina de ensaio

universal e a área de superfície foram avaliados por microscopia eletrônica. O estudo concluiu que os diferentes cimentos resinosos influenciam a força de união por *pull-out*, mas a espessura de cimento não foi responsável por nenhuma diferença estatística. De acordo com o estudo, cimentos resinosos auto-adesivos proporcionam retenção mais aceitável em caso de condições de espessura da camada de cimento mais ampla.

A partir de uma revisão de literatura sobre pinos de fibra de vidro, Bru *et al.* (2013), avaliaram trabalhos publicados no período de 2000 a fevereiro de 2011, através das bases de dados PubMed/Medline. Verificou-se que as vantagens dos pinos de fibras de vidro em relação aos núcleos metálicos fundidos têm sido demonstradas em numerosos estudos e, para que o sucesso clínico seja garantido, é necessário ter controle sobre diversos fatores. Alguns fatores de previsão de sobrevivência do sistema de reconstrução são: posição do dente na arcada; tamanho da parte coronária; contato proximal; suporte periodontal; tipo de restauração. Sabe-se que os pinos de fibra de vidro apresentam bom comportamento biomecânico devido ao módulo de elasticidade ser semelhante ao da dentina. Dessa forma, a falha do sistema ocorre pelo desprendimento do pino e não pela fratura da raiz, como ocorre no sistema de núcleo metálico fundido. O formato do pino e a espessura da linha de cimentação são capazes de modificar a capacidade de retenção. Conseqüentemente, os pinos em formato anatômico têm sido desenvolvidos para reduzir o volume da interface cimento/dentina através da remodelação de superfície e pinos personalizados. A revisão de literatura conclui que diferentes aspectos do processo de preparo podem ajudar a melhorar a retenção de pinos de fibra de vidro. Mas uma investigação mais aprofundada, principalmente clínica, é necessária para adquirir uma melhor compreensão de como os diferentes fatores influenciam o comportamento clínico dos pinos de fibra de vidro.

Em relação ao efeito da férula e uso de pino de fibra de vidro sobre à resistência à fratura, Zicari *et al.* (2013), avaliaram dentes tratados endodonticamente sujeitos a carga de fadiga cíclica. Selecionaram 40 pré-molares superiores extraídos e seccionados no limite amelocementário (grupos A e B) ou 2 mm acima da junção (grupos C e D) e, posteriormente, tratados endodonticamente. Depois de armazenamento em água por 24hr a 37°C, os espécimes foram restaurados de acordo com quatro tipos de abordagem (n=10 por grupo). A: NF-NP

(sem fôrula e sem pino); B: NF-P (sem fôrula e com pino); C: F-NP (com fôrula e sem pino); D: FP (com fôrula e com pino). Os pinos utilizados foram RelyX (3M, ESPE) e foram cimentados com Panavia F 2.0 (Kurakay). Foi construído um núcleo padronizado e posteriormente os espécimes foram restaurados com coroa total de cerâmica (IPS Empress CAD, Ivoclar-Vivadent). Os espécimes foram expostos à fadiga a 1.200.000 ciclos por um simulador (Willytech). Os espécimes que sobreviveram à carga de fadiga foram fraturados por um dispositivo de carregamento universal (Micro-Tester, Instron). Realizou-se uma análise de variância para avaliar a resistência à fratura. O efeito da fôrula aumentou significativamente a resistência à fratura dos dentes restaurados, independente do uso do pino ($p=0,003$). Apenas um espécime NF-NP falhou sob fadiga. F-NP apresentou resistência mais elevada ($758.52\pm 121.89N$) e não foi significativamente diferente do grupo F-P ($647.58\pm 132.95N$), NF-NP apresentou menor resistência à fratura ($361.52\pm 151.69N$). Todos os grupos registraram falhas "reparáveis". O estudo concluiu que, evitando-se desgaste excessivo, pinos de fibra protege dentes tratados endodonticamente contra falha catastrófica, além de melhorar a retenção e resistência à fadiga da restauração.

O estudo *in vitro* de Daleprane *et al.* (2014), avaliaram o efeito de sistemas resinosos e dos níveis de acesso da luz na resistência ao cisalhamento por extrusão de pinos de fibra de vidro cimentados ao conduto radicular. Utilizaram 135 dentes bovinos unirradiculares, distribuídos em blocos por aleatorização. Seccionaram os dentes na junção cimento-esmalte e as raízes foram tratadas endodonticamente, preparadas para pino intrarradicular e cimentadas com pino de fibra de vidro Reforpost número 3 (Angelus), de acordo com os seguintes grupos: RelyX ARC/ Adper Scotchbond Multiplus (3M ESPE); C&B/All-Bond 2 (Bisco) e RelyX U200 (3M ESPE). As raízes foram divididas, de acordo com o nível de acesso da luz em: coronal, médio e apical, formando 9 grupos em estudo ($n=15$). Depois da cimentação, foram obtidos dois espécimes em cada terço radicular, com 1,0 mm de espessura. Realizaram ensaio mecânico em máquina universal (20N; 0,5 mm/min) e registraram a força máxima (MPa) para o deslocamento. Os espécimes foram examinados em estereoscópio para identificação do tipo de falha. Imagens foram obtidas por MEV para a avaliação da linha de cimentação. Os autores verificaram o efeito dos fatores e de sua interação sobre a resistência de união nos terços coronal, médio e apical do canal. Quando a luz foi aplicada no terço coronário, o sistema de

cimentação ($p=0,790$), o terço radicular avaliado ($p=0,224$), e a interação ($p=0,443$) não diferiram estatisticamente. Quando foi avaliada a resistência de união no terço apical, o nível de acesso da luz apresentou efeito significativo ($p=0,029$), mas o sistema de cimentação ($p=0,775$) e a interação ($p=0,420$) não foram significativos. Quando a luz foi aplicada diretamente sobre cada terço radicular, houve efeito significativo do terço radicular ($p=0,001$), porém, não houve diferença para o sistema de cimentação ($p=0,56$) e para a interação ($p=0,809$). O nível de acesso ao conduto influenciou a resistência de união de pinos de fibra de vidro ao conduto radicular. O estudo concluiu que os cimentos resinosos apresentaram valores de resistências de união similares e a resistência de união ao terço apical foi superior, quando o cimento foi aplicado diretamente no nível apical.

Segundo Ekambaram *et al.* (2014), os pinos disponíveis atualmente no mercado, podem ser classificados de acordo com o tipo de retenção promovido na raiz (ativa ou passiva), bem como a sua forma (paralelo ou cônico) e sua fabricação (ou seja personalizado ou pré-fabricados). Além disso, pinos pré-fabricados podem ser categorizados com base na composição (aço inox, liga de titânio, cerâmica, zircônio ou fibra) ou classificados com base no tipo de fibras utilizadas para a fabricação (por exemplo, carbono, quartzo, vidro ou cerâmica).

Um estudo realizado por Zanatta *et al.* (2015), avaliaram a influência do diâmetro da ponta e do orifício da base da máquina no teste de *push-out* a partir de análise de elementos finitos. O estudo concluiu que o tamanho do diâmetro da ponta e do orifício da base influencia a distribuição de tensões no teste *push-out*, sendo que bases com maiores diâmetros e pontas com menores diâmetros causaram maior tensão na dentina e na interface dentina/cimento. O elemento finito mostrou que a variação no diâmetro influencia na distribuição de tensão, e dessa forma, os fatores devem ser levados em conta durante testes experimentais de *push-out*.

Para relacionar a resistência à fratura em diferentes sistemas de pino, Jayasenthil *et al.* (2016), utilizaram 40 pré-molares inferiores instrumentados endodonticamente e obturados pela técnica de condensação lateral, divididos aleatoriamente em quatro grupos: 1- Reforpost®; 2- RelyX®; 3- Exacto® cônico; 4- Parapost Fiber Lux®. Os condutos foram preparados a partir das brocas específicas do fabricante e foi feita a cimentação dos pinos intrarradiculares. Foram realizados núcleos de preenchimento e coroas totais metálicas foram cimentadas. A resistência de união foi determinada em máquina de ensaio universal. Foi realizada análise

estatística a partir de ANOVA one way com análise de variância e teste post hoc de Tukey. O resultado do estudo afirmou que os dentes restaurados com Reforpost apresentaram maior resistência à fratura, seguido por Parapost e Exacto cônico. Os dentes restaurados com RelyX apresentaram menor resistência à fratura. O estudo concluiu que dentes restaurados com mais de um pino intrarradicular resultou em maior resistência á fratura. Os dentes restaurados com pinos de fibra cônicos resultaram em menor resistência à fratura quando comparado com pinos paralelos. Os pinos paralelos apresentam menor taxa de falha seguidos dos pinos cilíndricos e cônicos. Verificou-se que novos estudos são necessários, principalmente na área de pinos estéticos, como de fibra de quartzo e pinos de zircônia.

Um estudo realizado por Prado *et al.* (2016), avaliaram a influência da espessura da linha de cimento na resistência de união por push-out em pinos de fibra de vidro nos terços cervical, médio e apical. Total de 30 raízes foram aleatoriamente divididas em três grupos de acordo com a broca do sistema do pino: G1-número 2, G2-número 3, G3-número 4. Os pinos foram cimentados com um cimento auto-adesivo. Imagens antes e após cada lado da fatia foram obtidas antes e após o teste push-out. A espessura de cimento foi determinada a partir de um desenvolvimento de um software de dados KS400. Todos os grupos apresentaram valores de adesão mais elevados no terço apical. O grupo com a broca número 3 (14.62 ± 5.15 MPa) apresentou resistência de união superior ao grupo com a broca 2 (10.04 ± 5.13 MPa) e com a broca 4 (7.68 ± 6.14 MPa). O ligeiro aumento da espessura de cimento gerou aumento nos valores de resistência ao cisalhamento quando comparados com linhas de cimento finas ou espessas.

2.2 FALHAS E DEGRADAÇÃO DA LINHA DE CIMENTO

Um estudo de Mitchell *et al.* (1995), avaliaram os fatores que influenciam as falhas de coesão no cimento de um pino de fibra de vidro cimentado com cimento ionômero de vidro, para determinar a importância da umidade, do substrato e do formato do pino de fibra de vidro na falha do cimento, foram preparados nove grupos (n=5 por grupo): 1-3 para avaliar a influência do formato do pino; e 4-9 para avaliar a interação entre cimento/substrato/umidade. Réplicas foram preparadas de todos os espécimes e analisadas por MEV. O estudo concluiu que a umidade e o tipo de substrato influenciam diretamente nas falhas do cimento ionômero de vidro,

enquanto o formato do pino de fibra de vidro não possui nenhuma influência na falha coesiva do cimento intrarradicular.

A partir de um estudo *in vitro*, Lalh *et al.* (1999), avaliaram, por MEV, a interface de união e linha de cimentação entre cimento ionômero de vidro e cimento endodôntico em relação à dentina radicular bovina condicionada. A interface de união do cimento Ketac-Endo e de dois cimentos de ionômero de vidro (KT-308 e ZUT) em dentina bovina - condicionada com água destilada, ou 2,6% NaOCl, ou 17% EDTA com 2,6% NaOCl – foram investigadas. Cilindros de cada um dos aferidores foram formados sobre a superfície de dentina condicionada, permanecendo por 90 minutos. Inicialmente, realizaram um teste de corte para determinar a resistência de união. Em seguida, três espécimes de cada grupo foram processados para estudo por MEV. Em um terceiro momento, os espécimes foram cortados transversalmente e a interface de união e linha de cimentação foram examinadas qualitativamente. Foram observadas falhas de natureza coesiva em todos os espécimes. As amostras condicionadas em 2,6% NaOCl revelaram presença de camada híbrida na interface de união em todos os cimentos.

Em 2001, Nomoto e McCabe, realizaram um estudo para avaliar o efeito do método de manipulação sobre a resistência à compressão e formação de porosidade no interior de cimentos ionoméricos dentários. Foram utilizados cinco cimentos ionoméricos, dois foram misturados à mão e três foram encapsulados, misturados por agitação ou rotação (centrifugação). A resistência à compressão foi determinada após 24 horas para cada cimento e combinação determinada. A superfície de fratura foi examinada por MEV. O método de manipulação gerou efeito significativo na resistência à compressão. Em relação aos cimentos ionoméricos para cimentação e forramento, a mistura manual gerou resistência à compressão significativamente superior. Para o cimento ionomérico restaurador, as amostras misturadas manualmente apresentaram resistência à compressão significativamente menor em relação à mistura por rotação/centrifugação. A porosidade foi incorporada em todas as amostras e baixos valores de resistência à compressão foram associados aos poros maiores. O estudo concluiu que a resistência de cimentos ionoméricos é afetada pela porosidade incorporada durante a manipulação e isto depende do método de manipulação. Para alguns cimentos ionoméricos, a manipulação manual é favorecida, a fim de reduzir a porosidade e aumentar a força de união, porém isso não é aplicável a todos os cimentos.

O estudo de Amaral *et al.* (2007), afirmaram que a resistência à degradação da linha de adesão é um fator que apresenta grande influência sobre o desempenho clínico de restaurações. Apesar de testes *in vivo* serem os mais indicados para prever o comportamento das restaurações, os modelos *in vitro* criam alguns fatores determinantes aos testes, como ciclos térmicos, carga mecânica, ciclagem de pH, reação dos materiais em água destilada, soluções de simulação de alimentos, efeito das enzimas derivadas do hospedeiro e armazenagem, que atuam diretamente na degradação da linha de união. Os autores realizaram uma revisão para avaliar a importância dos métodos *in vitro* na análise da interface e sua durabilidade. O estudo foi dividido em duas seções. A primeira seção focou nos mecanismos de biodegradação *in vivo*. A segunda seção descreveu a influência do armazenamento em diferentes materiais, da termociclagem, carga mecânica, ciclagem de pH e soluções de simulação de alimento sobre a degradação da interface adesiva. A revisão realizada concluiu que, apesar das metodologias ocorrerem em conjunto na cavidade oral, cada método tem importância específica nos mecanismos de degradação, e os métodos *in vitro* simulam a degradação e descrevem pontos importantes em relação ao desempenho clínico das restaurações.

A resistência de união de três sistemas adesivo/cimento/pino foi avaliada por D'Arcangelo *et al.* (2007a), no terço apical variando o método de aplicação do agente de cimentação. Pino ENA (Micerium, Avegno, Genova, Italy), pino FRC Plus (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), e pino anatômico (Dentalica, Milano, Italy) foram cimentados em canais radiculares utilizando o sistema adesivo e o cimento resinoso fornecido pelos fabricantes. Cada grupo foi dividido aleatoriamente em três subgrupos (n=10) de acordo com a técnica utilizada para aplicação do agente de cimentação no interior do conduto: 1-broca Lentulo espiral; 2-aplicação do cimento diretamente no pino; 3-injetar o cimento com uma seringa específica. Um teste de *push-out* foi realizado em seções da parte apical de cada espécime. Todos os espécimes fraturados foram observados utilizando o microscópio estereoscópico. Os valores de resistência de união não foram significativamente alterados pela técnica de aplicação do agente de cimentação ($p > 0,05$). O sistema ENA apresentou maior valor de resistência de união. Os outros grupos apresentaram valores de resistência de união semelhantes entre si. A análise microscópica revelou prevalência de falha mista/coesiva na interface cimento/pino.

Um trabalho de D’Arcangelo *et al.* (2007b), avaliaram o efeito da espessura de cimento no teste de *pull-out* relacionado a resistência de união entre pino de fibra e dentina radicular. Foram utilizados 80 incisivos centrais superiores humanos com comprimento de raiz semelhantes, seccionados na junção cimento-esmalte e tratados endodonticamente. As raízes foram divididas em 4 grupos (n=20) e os condutos foram preparados com comprimento de 8 mm utilizando quatro tipos diferentes de brocas com diâmetros diferentes: Torpan ISO 90 (D90) para grupo controle; Torpan ISO 100 (D100); Torpan ISO 120 (D120) ou pino ENA ISO 140 (D140) para os grupos teste. Pino de fibra de vidro (EndoLight), com 0,9 de diâmetro apical foi cimentado com cimento Panavia 21 em cada espécime após preparo da dentina. As amostras foram submetidas a teste de *pull-out* em máquina de ensaio universal, com velocidade de 1,0 mm/min, onde a força máxima para deslocar cada espécime foi registrada em N. Os valores de resistência de união média em N para os grupos experimentais [D100 181,7 (55,3)] e D120 [210,7 (55,0)] foram maiores ($p = 0,036$ e $<0,001$, respectivamente) do que o valor obtido para o grupo controle D90 [138,5 (49,2)]. O menor valor médio de resistência de união foi encontrado no grupo D140 [91,1 (36,0)]. Todos os grupos experimentais mostraram resultados significativamente diferentes quando comparados com o grupo controle. Os dados encontrados sugeriram que a espessura do cimento resinoso influencia na força de *pull-out* para pinos de fibra de vidro. Quando a espessura de cimento foi muito alta (grupo D140) a resistência de união foi significativamente diminuída.

Para avaliar a influência de métodos de inserção do cimento resinoso na resistência de união e na qualidade da camada de cimento, Michida *et al.* (2010), utilizaram 40 raízes bovinas unirradiculares com comprimento de 16 mm foram distribuídas aleatoriamente em quatro grupos, de acordo com os métodos de inserção de cimento (n=10): Gr1- broca Lentulo #40, Gr2- seringa Centrix, Gr3- explorador #5, Gr4- pino de fibra de vidro. Os canais radiculares foram preparados em 12 mm pela técnica de aquecimento de um cilindro de quartzo (Aesthet Post-plus, Bisco). Os pinos de fibra foram cimentados usando um sistema adesivo de dois passos (All Bond 2®, Bisco) e cimento resinoso dual (Duolink, Bisco). Cada raiz foi seccionada em sete amostras: quatro amostras de espessura de 1,8 mm para o teste de *push-out*, e três amostras com 0,5 mm para análise qualitativa da camada de cimento. Para os valores de *push-out* foram realizadas análises por One-way ANOVA, e para a camada de cimento foram utilizados os testes de Kruskal-Wallis

($p < 0,05$) e de Dunn (10%). O teste ANOVA indicou que a qualidade da camada de cimento foi afetada pelos métodos de inserção do cimento ($p = 0,0044$): Gr1 ($3,8 \pm 1,3a$), GR2 ($3,2 \pm 1,3a$), Gr3 ($5,2 \pm 1,5a, b$) e ($5,2 \pm Gr4 1,5b$) (teste de Dunn), enquanto que a resistência de união (MPa) não foi afetada por métodos de inserção de cimento: G1 ($4,2 \pm 1,3$), G2 ($3,2 \pm 1,8$), G3 ($4,5 \pm 0,9$), G4 ($3,1 \pm 1,3$). O estudo concluiu que os pinos de fibra de vidro devem ser cimentados com a ajuda da broca Lentulo ou seringa Centrix para promover os melhores resultados para a camada de cimento.

Com objetivo de avaliar a influência da ciclagem mecânica e espessura de cimento na resistência de união entre pinos de fibra de vidro e dentina radicular, Da Rosa *et al.* (2011), realizaram um estudo em que 40 dentes bovinos de comprimento de 16 mm foram seccionados e divididos aleatoriamente em quatro grupos ($n = 10$). Nos grupos 1 e 2 os pinos foram cimentados utilizando uma camada de cimento mais fina, e nos grupos 3 e 4 os pinos foram cimentados com uma camada mais espessa de cimento. Os grupos 2 e 4 foram submetidos a ciclagem mecânica. Quatro fatias por espécime foram submetidas ao teste de *push-out*. O estudo verificou que os valores de resistência de união não foram afetados pela ciclagem mecânica ($p = 0,2893$), embora a espessura de cimento tenha afetado as forças de ligação ($p = 0,0059$ mais fino > mais grosso). O teste de Tukey mostrou que o grupo 1 (19,27 MPa) teve valor de resistência de união médio maior que o grupo 3 (12,4 MPa) e grupo 4 (13,6 MPa), enquanto o grupo 2 foi estatisticamente semelhante para todos os grupos. Os autores concluíram que uma camada mais espessa de cimento afeta negativamente a resistência de união por *push-out* na interface entre pino de fibra de vidro e dentina radicular, independentemente se o espécime foi submetido ou não à ciclagem mecânica.

O estudo de Liu *et al.* (2011), avaliaram o comportamento de degradação do cimento resinoso auto-adesivo e do cimento resinoso convencional na adesão de cerâmicas silanizadas em condições orais simuladas. O cimento resinoso auto-adesivo é mais susceptível à água do que o cimento resinoso convencional, sendo o maior risco de degradação da interface de união de cerâmica silanizada em um ambiente oral. Foram utilizados três cimentos resinosos convencionais Linkamx HV (LMHV), Cimento Clearfil Esthetic (CEC), e SuperBond (SB) que foram pareados com a cerâmica silanizada GC Ceramic Primer (GCCP), Clearfil Ceramic Primer (CCP), e Porcelain Liner M (PLM), respectivamente, e um cimento resinoso auto-

adesivo (G-CEM), pareado em cada grupo de cerâmica silanizada. Mediu-se o nível de sorção máxima de água e solubilidade dos cimentos resinosos de acordo com a norma ISO 4049 durante 6 semanas de armazenamento em água. Foi calculada a resistência de união por microcisalhamento cimento/cerâmica (n=10 por grupo) por ciclagem térmica (CT), sendo testada depois de 0, 10.000 e 30.000 ciclos térmicos, e contabilizaram os tipos de falha de adesão. O estudo concluiu que G-CEM (cimento resinoso auto-adesivo apresentou maior absorção de água ($p < 0,001$) e maior solubilidade em relação aos cimentos resinoso convencionais. A resistência de união de todos os grupos foi reduzida significativamente pelos ciclos térmicos, no entanto, a força de união pareceu estabilizar sem degradação significativa entre 10.000 e 30.000 ciclos térmicos. Os cimentos resinosos convencionais apresentaram aumento da degradação da linha de cimentação ao longo dos ciclos térmicos (TC 0-30.000). Dessa forma, pode-se afirmar que o comportamento de degradação da interface de união de G-CEM (cimento auto-adesivo) em condições de ciclos térmicos difere do comportamento de cimentos resinosos convencionais.

Por meio do estudo de Zhang *et al.* (2011), investigaram a correlação de características morfológicas e modos de falhas de dois tipos de pinos de fibra de vidro cimentados com cimento resinoso. Foram utilizados 36 pré-molares unirradiculares tratados endodonticamente e divididos aleatoriamente em 4 grupos. A: adesivo auto-condicionante com pino de fibra POPO. B: adesivo de dois passos com pino de fibra POPO. C: adesivo auto-condicionante com ParaPost. D: adesivo de dois passos com ParaPost. Cada raiz foi seccionada em seis fatias de 1 mm de espessura e submetido ao teste de *push-out*. A interface dentina/cimento/pino e o modo de falha foram avaliados por microscópio estereoscópico. Observou-se que, a presença de vazios/bolhas no grupo B (64,2%) e D (66,7%) era significativamente mais elevada do que o grupo A (5,8%) e C (13,7%) ($p < 0,001$). Falhas na interface do grupo D (41,2%) eram significativamente mais elevadas do que o grupo A (13,5%) e C (11,8%) ($p < 0,0083$), e os modos de falha em cada grupo foram significativamente diferentes ($p < 0,0083$), exceto para o grupo A e B ($p = 0,69$). O estudo concluiu que os espaços vazios/bolhas na camada de cimento estão associados com o agente de cimentação envolvido. As características morfológicas da interface adesiva foram discrepantes em modos de falha em diferentes regiões da raiz.

Um estudo de Marques de Melo *et al.* (2012), determinaram a resistência de união de pinos intrarradiculares e sua relação com o grau de conversão do cimento e a linha de união dentina/pino. Foram utilizados dois sistemas adesivos convencionais (All-Bond 2 e One-Step Plus) e dois sistemas auto-condicionante (Clearfil SE Bond e Xeno III), os pinos foram cimentados com cimento resinoso dual (Duo-Link) ao conduto radicular. Seções transversais do dente foram submetidas ao teste de push-out para medir o grau de conversão do cimento e, posteriormente, a camada híbrida foi avaliada por espectroscopia Raman- μ . O estudo verificou que a camada híbrida era mais espessa para o sistema auto-condicionante, com espessura decrescente em direção ápice-cervical. O grau de conversão do cimento resinoso para o sistema adesivo convencional foi significativamente mais elevado do que para o sistema adesivo auto-condicionante. A partir do estudo, os autores concluíram que, apesar de não ser totalmente estável, o sistema adesivo de 3 passos (convencional) apresenta melhor resistência de união, melhor grau de conversão do cimento e melhor nível de espessura de camada híbrida tanto em curto quanto em longo prazo.

De acordo com uma revisão de literatura sobre cimentos resinosos, adesão e sistemas cerâmicos Manso *et al.* (2011), afirmaram que ensaios clínicos são necessários para entender o desempenho real das cerâmicas atuais em meio bucal e o papel de agentes de cimentação e tratamento de superfície sobre o seu desempenho clínico. Em relação à falha clínica, muitos fatores individuais estão envolvidos, como *design* do pino intrarradicular/núcleo metálico, espessura e técnicas do tratamento e a função oclusal. O elevado número de complicações clínicas em tratamentos cerâmicos necessita atenção clínica em relação ao material selecionado e uma melhoria no sistema restaurador é precisa. Os autores afirmaram que há um limitado número de trabalhos sobre ensaio clínico em relação ao Y-TZP e outras cerâmicas reforçadas, mas o material apresenta um potencial clínico considerado adequado para uso na prótese odontológica. Os autores afirmam que é importante avaliar o desempenho à longo prazo de diferentes tratamentos de superfície e outras abordagens são esperadas para melhorar e estabilizar os mecanismos de adesão entre dente e cerâmica, como por exemplo, a união química por meio do aumento de grupos -OH e capacidade de adesão a superfícies úmidas, aumentando a expectativa de durabilidade da interface cerâmica/cimento resinoso/substrato dentário.

Para avaliar o efeito de diferentes espessuras de cimento na resistência de união, Egilmez *et al.* (2013), utilizou teste de *push-out* em diferentes pinos (pino de CAD/CAM de zircônia, pino de fibra de vidro reforçada) antes e após ciclos térmicos (TC). Os condutos radiculares foram preparados em 9 mm de comprimento e 1,5 mm de diâmetro em 80 dentes pré-molares inferiores e aleatoriamente divididos em dois grupos (n=40) de acordo com o tipo de pino utilizado, e aleatoriamente subdivididos de acordo com o diâmetro (n=20 por grupo): 1) 1,5 mm de diâmetro; 2) 1,2 mm de diâmetro. Todos os pinos foram cimentados com cimento auto-adesivo seguindo as instruções do fabricante. Metade das amostras foi submetida a ciclos térmicos (5000 ciclos, 5-55°C). Os espécimes foram seccionados em fatias de espessura horizontais e submetidos a teste de *push-out*. Os modos de falha foram avaliados quantitativamente e morfologicamente. A resistência de união pelo teste de *push-out* foi significativamente influenciada pelo diâmetro e pelos TC, sendo superiores para o grupo com diâmetro de 1,5 mm. O TC aumentou significativamente os valores de resistência de união ($p < 0,05$). O estudo concluiu que a resistência de união é significativamente menor quando a camada de cimento resinoso é mais espessa. Além disso, concluiu que o TC influencia drasticamente a resistência de união dos materiais.

Para avaliar o efeito do ambiente na contração pós-gel, deflexão de cúspide, resistência de união, módulo de elasticidade e tensão de contração em molares com restaurações classe II, Bicalho *et al.* (2015), utilizaram 60 molares humanos que receberam restauração classe II padronizados. As restaurações foram feitas com dois compósitos, em três condições ambientais de temperatura e umidade do ambiente. As condições do compósito e o meio ambiente foram simulados em análise de elementos finitos bidimensional. Os compósitos apresentaram semelhantes valores de contração pós-gel, deflexão de cúspide, resistência de união e tensão de contração. O aumento da temperatura e umidade geraram aumento significativo na contração pós-gel, na deflexão de cúspide e na tensão de contração. A resistência de união foi similar quando a umidade foi mais baixa, independente da temperatura. O estudo afirmou que a tensão de contração apresentou alta correlação inversa com a resistência de união. O estudo concluiu que o aumento da temperatura e umidade causou maior contração pós-gel e deformação de cúspide com tensão de contração superior na interface dente/restauração para ambos os compostos testados. Além disso, o estudo afirma que simular a temperatura oral e a

umidade é importante para determinar o melhor comportamento biomecânico de restaurações de resina composta. Evitar a umidade durante procedimentos restauradores a partir do isolamento absoluto ajuda a reduzir a deflexão de cúspide e a tensão de contração, além de melhorar a força de ligação de restaurações posteriores em resina composta.

Com objetivo de avaliar o efeito da técnica de inserção de cimento resinoso e ciclagem mecânica na resistência de união de PFV a dentina radicular, Souza *et al.* (2015), utilizaram 64 raízes bovinas unirradiculares endodonticamente preparadas para receber PFV. A inserção do cimento no conduto radicular foi realizada por uma das técnicas: POS (inserção juntamente com o pino), LEN (utilização da broca lentulo), EXP (inserção com ponta reta de explorador), CEN (utilização da seringa Centrix). Metade dos espécimes foi submetida à ciclagem mecânica. Todos os espécimes foram seccionados em fatias de 1,8 mm para o teste de *push-out* e de 0,5 mm para análise da qualidade da camada de cimento. O estudo afirmou que a técnica de inserção afetou a interação entre os fatores resistência de união e ciclagem mecânica. A inserção do cimento com o uso da seringa Centrix após a ciclagem mecânica gerou maiores valores de resistência de união (13.6 ± 3.2 MPa). A ciclagem mecânica influenciou significativamente a resistência de união dos grupos POS e CEN. A qualidade da camada de cimento não diferiu entre as técnicas quando avaliados os terços médio e cervical, porém diferiram no terço apical, onde o grupo CEN apresentou melhor qualidade da camada de cimento nas duas condições testadas. O estudo concluiu que o uso da seringa Centrix melhorou a homogeneidade da camada de cimento, reduzindo os defeitos da camada e aumentando os valores de resistência de união à dentina, mesmo após ciclagem mecânica.

2.3 MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA – MICRO CT

Um estudo de Bergmans *et al.* (2001), apresentaram uma metodologia para avaliação quantitativa da instrumentação de canais radiculares por meio de microtomografia computadorizada em conjunto com software de reconstrução desenvolvido com base em um modelo matemático. Um scanner de mesa de raios-x de microtomografia computadorizada (micro CT) (SkyScan 1072) foi usado para obter dados de um molar inferior antes e depois da instrumentação endodôntica (ProFile 0,04 Taper, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Através de um software

de reconstrução se obteve desenhos 3D para avaliar a capacidade qualitativa de visualização do método. Posteriormente, o software foi utilizado para gerar o alinhamento dos volumes das imagens pré e pós-endodontia. O software foi desenvolvido para realizar medições quantitativas e qualitativas para fornecer informações adicionais sobre os volumes das imagens registradas. Esse modelo matemático 3D para quantificação dos efeitos de instrumentação permite o uso de cortes virtuais para avaliar a capacidade de transporte e centragem. Como resultado, o formato do conduto antes e após o preparo endodôntico pode ser visualmente examinado em 360° de rotação. Os valores numéricos foram obtidos para volume, alterações de volume e transporte de imagens. Conclui-se que esta metodologia é uma maneira nova e objetiva para avaliação quantitativa da instrumentação endodôntica de canais radiculares por meio de micro CT e software de reconstrução.

A partir de um estudo *in vitro*, Efeoglu *et al.* (2007), investigaram se o uso de peróxido de carbamida a 35% afeta a mineralização do esmalte e da dentina através do uso de micro CT. Foi aplicado peróxido de carbamida 35% em 11 dentes extraídos que, posteriormente, foram imersos em saliva artificial a 37°C por 24 horas para simular a condição bucal. Realizou-se micro CT (Micro CT 80, Scanco, Suíça) antes e após a aplicação do agente clareador, sendo 8 regiões 3D de interesse, partindo da superfície externa do esmalte e aprofundando para o limite esmalte-dentina. Calculou-se a concentração mineral de hidroxiapatita (g/cm^3) nas regiões de interesse. Como resultado, verificou-se uma significativa redução de mineral em esmaltes após a aplicação do agente em profundidade que se estende até 250 microns (teste *t* pareado, $p < 0.05$). A redução de mineral foi maior na região de interesse mais próximo à superfície do dente. Não houve diferença significativa no teor de mineral na dentina. O estudo *in vitro* mostrou que o uso do clareamento dental não deve ser considerado “não-destrutivo” em relação ao esmalte.

Para realizar uma avaliação a longo prazo da remineralização de lesões de cárie interproximal na presença de três cimentos de ionômero de vidro (cimento ionômero de vidro, compômero, e cimento ionômero de vidro modificado por resina) e resina composta (controle), Lee *et al.* (2008), utilizaram o micro CT. Restaurações proximais foram simuladas em amostras de dentes em saliva artificial a 37°C e pH 7,0 durante 30 dias. Imagens tomográficas foram obtidas pelo digitalizador micro CT em 90, 180 e 270 dias, e software de medição de densidade foi utilizado para calcular a densidade de micro lesões de cárie nas amostras. As variações médias de

densidade foram comparadas entre os grupos para avaliar os efeitos de remineralização. O aumento da densidade das lesões de cárie artificial aumentou em todos os tratamentos, porém para os grupos ionoméricos foram significativamente maiores do que para o grupo de resina. O micro CT comprovou ser um método de avaliação eficaz para este tipo de estudo.

O método de micro CT foi utilizado por Cleghorn *et al.* (2008), para descrever variações incomuns nos sistemas de morfologia radicular e do canal radicular de primeiro e segundo pré-molares inferiores extraídos por motivos ortodônticos. Após um paciente apresentar-se para tratamento ortodôntico e a decisão por exodontia de dois pré-molares inferiores, verificou-se que o primeiro pré-molar inferior exibiu três raízes distintas e separadas e o segundo pré-molar inferior exibiu sistema de canal radicular em forma de C. Foi realizada imagem de micro CT após o elemento ser extraído. Conclui-se que a interpretação clínica e radiográfica é fundamental no reconhecimento de sistemas radiculares e o valor da micro CT em estudo de anatomia “*ex vivo*” está em constante crescimento e deve ser incentivada.

O micro CT foi utilizado por Zeiger *et al.* (2009), para testar a hipóteses de que a contração dos compósitos e locais de potencial infiltração não são uniformemente distribuídos e dependem da geometria da cavidade e do fator C. Dois orifícios de volume igual, mas diferentes dimensões foram perfurados em dentina exposta de molares humanos extraídos. As cavidades foram preenchidas com resina composta e os dentes digitalizados antes e após fotoativação, utilizando micro CT. A reconstrução tridimensional foi analisada por um programa de análise de imagem. As reconstruções mostraram que a geometria da cavidade não foi capaz de afetar a contração de polimerização. A contração para todas as restaurações foi de 2,66+/-0,59% e as dimensões da cavidade não afetaram o volume perdido para a quantidade e para a localização da amostra. Potenciais locais de infiltração foram identificados por formação de fendas e verificaram que não há distribuição uniformemente distribuída pela interface dente/resina composta. Os dados de micro CT foram confirmados por microscopia confocal. O estudo afirmou que o micro CT será capaz de adicionar enorme valor à caracterização de materiais dentários. A distribuição não uniforme de potenciais infiltrações por micro CT enfatiza a inadequação de métodos tradicionais pois estes são capazes de analisar apenas áreas limitadas. Além disso, a avaliação por micro CT é capaz de gerar análises qualitativas, quantitativas e semi-quantitativas.

Com objetivo de descrever um *software* de processamento sequencial de micro CT para 3D-FE, Rodrigues *et al.* (2009), utilizaram um dente molar como representante, dando atenção a cada etapa do processamento de dados. Inicialmente apresentou uma visão geral do processamento sequencial e, em seguida, aplicou o modelo em um caso clínico. Um molar inferior hígido foi digitalizado por um aparelho de micro CT (SkyScan 1072, Bélgica) em que foram obtidas 960 fatias. Foram selecionadas 63 fatias para o modelo-criação. Limites entre esmalte e dentina foram determinadas, para cada fatia, usando software de imagem de sistema de controle (ScanIP, Simpleware) gerando um arquivo que foi convertido em uma malha em um *software* de reconstrução (ScanFE, Simpleware) e posteriormente convertido em arquivo 2D. Este foi importado para um pacote de software FE (Patran, MSC Software, EUA) e todos os elementos foram inserido na malha. A partir desses elementos, as superfícies foram criadas e exportadas para software FE (HyperMesh, Altair HyperWorks) para reconstruir as cavidades odontológicas. A malha volumétrica foi criada e o modelo foi importado novamente para software FE para aplicar contorno, propriedade dos materiais e realizar procedimentos pós-processamento (Patran e Marc, MSC Software). Posteriormente, o modelo foi aplicado a um caso clínico de restauração classe I sujeito a uma carga distribuída. Foi realizada uma análise linear e as tensões máximas foram avaliadas. Conclui-se que um modelo 3D de um molar inferior foi processado sem gerar erros através do software de reconstrução FE, com desvio entre dente e modelo inferior a 0,1%. Concentrações de tensão foram encontradas na superfície em que a carga foi aplicada e na vizinhança da interface dente-compósito. Além disso, conclui-se que o procedimento descrito é um método eficaz capaz de produzir um modelo de elemento finito 3D altamente detalhado dos dentes molares restaurados com qualquer configuração de cavidade e combinação de materiais restauradores e este método também pode ser utilizado para outras aplicações biológicas ou de biomateriais.

Um estudo de Swain & Xue (2009), destacaram os recentes avanços da microtomografia de raios-X (micro CT) aplicados em pesquisas odontológicas. O estudo afirmou que as aplicações de micro CT podem envolver medição da espessura do esmalte dentário, a morfologia do canal radicular, a avaliação do preparo do canal, avaliações da estrutura esquelética craniofacial, como modelo para elemento finito, avaliações da engenharia de tecidos dentários, densidade

mineral dos tecidos duros dentais e sobre implantes dentários. Os autores afirmaram que o micro CT tem se mostrado útil nessas variedades de aplicações, podendo fornecer imagens de alta resolução, análise qualitativa e quantitativa de dente, ossos e implantes. Com a evolução do sistema de micro CT maior resolução estará disponível para os estudos *in vitro* e *in vivo* e será uma poderosa ferramenta para a pesquisa odontológica no futuro.

Em um estudo comparativo, Ikram *et al.* (2009), avaliaram o volume de tecido dentário perdido após remoção do tecido cariado dentário, o preparo da cavidade de acesso, o preparo endodôntico e preparo do conduto radicular para pino intraradicular em um dente pré-molar. A hipótese nula foi de que não haveria diferença significativa (em porcentagem) entre o volume de tecido dentário perdido pré e pós-operatório. Total de 12 pré-molares humanos extraídos com tecido cariado cavitado nas faces distal ou mesial e comprometimento da câmara pulpar. Os dentes foram escaneados por micro CT. Após cada procedimento, a perda de volume de tecido dentário foi medida. O percentual de tecido dentário perdido após a remoção do tecido cariado foi de $8,3 \pm 5,83$, após o preparo da cavidade de acesso foi de $12,7 \pm 6,7\%$ (aumento de 4,4%), após o preparo do canal radicular (tratamento endodôntico), preparo do conduto radicular para pino de fibra de vidro e preparo para núcleo metálico foi $13,7 \pm 6,7$ (aumento de 1%), $15,1 \pm 6,3$ (aumento de 1,4%) e $19,2 \pm 7,4$ (aumento de 4,1%), respectivamente. Cada procedimento realizado aumentou significativamente ($p < 0,01$) o volume de tecido dentário perdido, com exceção do tratamento endodôntico. O estudo concluiu que o preparo para cavidade de acesso e preparo do conduto radicular para pino intraradicular são os procedimentos que geram maior perda de tecido dentário. O preparo para núcleo metálico leva uma perda maior de estrutura dentária em relação ao preparo para pino de fibra de vidro. Os dados encontrados são fundamentais para o tratamento clínico de dentes tratados endodonticamente e que necessitam de restaurações com recobrimento de cúspide.

Para avaliar quantitativamente a qualidade do preparo do conduto radicular e a obturação do conduto em canais tratados com limas rotatórias e limas auto-ajustáveis, Metzger *et al.* (2010), utilizaram análise tridimensional de micro CT. Os canais radiculares de pares combinados foram instrumentados com limas de níquel-titânio rotatórias e com limas auto-ajustáveis seguindo as instruções dos fabricantes. Realizou-se a micro CT antes e após o preparo do conduto radicular. A obturação do

canal radicular foi pela técnica de compactação lateral com guta-percha e cimento AH26 (Dentsply, Alemanha). Os dentes foram novamente digitalizados para avaliar a adaptação do material obturador às paredes do canal em três dimensões e avaliar a área das paredes do canal consideradas “intocadas” pelo cimento. A correlação dos parâmetros foi pelo teste de correlação de Pearson. Como resultado, verificou-se que em canais tratados com limas rotatórias apresentou uma elevada porcentagem de áreas dos canais radiculares não afetados (60%+/-14%) e áreas intocadas pela obturação (45%+/-15%), sendo encontrados valores significativamente menores nos canais tratados com limas de auto-ajuste. Não houve correlação entre os dois parâmetros dentro de cada um dos grupos. Apesar de o estudo apresentar limitações, as limas de auto-ajuste permitiram melhor limpeza e modelagem e melhor adaptação da obturação do conduto radicular em relação às limas rotatórias.

O estudo de Rocha *et al.* (2010), avaliaram o comportamento mecânico do verniz cerâmico em restaurações à base de zircônia através de análise de elemento finito com dados de micro CT. Utilizaram um incisivo central superior restaurado com coroa total com um núcleo de zircônia e verniz de cerâmica feldspática, simulando uma ligação incompleta entre o verniz e a subestrutura de zircônia, para avaliar a distribuição de tensão no verniz. Com base em micro CT foram desenvolvidos três modelos de elementos finitos para a coroa total: Mf – coroa completa em cerâmica feldspática; Mlz – coroa completa em zircônia com ligação completa na interface da zircônia/verniz; Mnzl – coroa completa em zircônia com ligação incompleta na interface zircônia/verniz com área de contato com coeficiente de atrito de 0,3. Uma carga de 1N foi aplicada à superfície lingual em 45° em relação ao eixo longitudinal do dente. O estudo observou que o núcleo de zircônia no modelo Mnzl apresentou tensão máxima (σ) e tensão de corte de 9,0 e 8,8 MPa, respectivamente. O verniz no modelo Mnzl apresentou tensão máxima, tensão mínimo (compressão) e tensão *von Mises* de 5,4, 61,2 e 35,2 MPa, respectivamente. Concluiu-se que a ligação incompleta entre o verniz e a zircônia gerou um aumento na tensão máxima (σ) em relação a ligação completa.

Suebukarn *et al.* (2011), realizaram um treinamento em simulador utilizando micro CT para avaliar a eficácia da realidade virtual (VR) em modelos de dente na minimização de erros durante o acesso endodôntico. Alunos de odontologia do quarto ano foram submetidos à avaliação pré-treinamento de preparo de cavidade de acesso endodôntico em um dente molar superior extraído montado em cabeça-

fantasma. Os alunos foram randomizados para treinamento em modelos de dente em um simulador VR através de micro CT (n=16) e em dentes extraídos e posicionados em cabeça-fantasma (n=16), sendo que após 3 dias a avaliação foi repetida. Os erros processuais foram avaliados por um especialista, considerando a perda de massa dentária, o tempo de conclusão da tarefa e o estágio de treinamento. O estudo concluiu que o desempenho pós-treinamento foi superior em comparação ao pré-treino em ambos os grupos ($p < 0,05$). O grupo simulador VR diminuiu significativamente ($p < 0,05$) a quantidade de perda de massa dentária no pós-treinamento. No entanto, a redução de erro e o tempo de conclusão de tarefa não foram significativamente diferentes nos dois grupos. Dessa forma, o simulador VR associado à micro CT e à técnica na cabeça-fantasma teve efeito equivalente em minimizar os erros no preparo de cavidade de acesso endodôntico.

Com o método de micro CT, You *et al.* (2011), realizaram um estudo comparativo para avaliar a capacidade de modelar do movimento alternativo de limas endodôntica quando comparado com movimento de rotação contínuo em canais curvos. Total de 20 molares superiores extraídos com canais méso e disto-vestibular com curvaturas de 20 a 45 graus foram instrumentados com limas rotatórias ProTaper. Os canais (CM) com movimentos contínuos (n=20) foram preparados usando rotação contínua com movimento de picotagem, enquanto que os canais (RM) com movimento vai-e-vem (n=20) foram preparados com movimento alternativo (140° no sentido horário e 45° no sentido anti-horário). Parâmetros geométricos como curvatura, volume do canal radicular, área superficial, índice de modelo de estrutura, grau e direção de transporte da lima foram avaliados através da microtomografia computadorizada pré e pós-preparo endodôntico. O estudo afirmou que não houve diferença significativa entre os grupos na curvatura do canal, volume, área superficial e índice de modelo de estrutura antes do preparo ($p > 0,05$). Não houve diferenças significativas na curvatura, volume do canal, área de superfície, índice de modelo de estrutura e grau e direções do transporte entre os grupos CM e RM ($p > 0,05$). Conclui-se, portanto, que o movimento alternativo pode ser um método alternativo para evitar erro de procedimento durante a formação do conduto radicular.

Para examinar a anatomia de segundos molares superiores com quatro raízes, Versiani *et al.* (2012), utilizaram a metodologia da micro CT. Foram escaneados 25 molares superiores com 4 raízes para avaliar o tamanho e a

curvatura das raízes; a distância e configuração espacial entre referências anatômicas; o número de canais radiculares e a posição dos forames apicais; a ocorrência de fusão de raízes e pérolas de esmalte; a configuração do canal no terço apical; a aparência em corte transversal; o volume e a área de superfície dos canais radiculares. O tamanho das raízes foi semelhante ($p > 0,05$) e a maioria deles apresentou um canal radicular por raiz, exceto o canal méseo que mostrou dois canais em 24% das amostras. A configuração da câmara pulpar foi principalmente em forma de quadrilátero irregular. Observou-se a menor distância média dos orifícios entre as raízes vestibulares ($p < 0,05$). Canais acessórios estavam presentes principalmente no terço apical. Localização do forame apical variou consideravelmente. Raízes fusionadas e pérolas de esmalte ocorreram em 44% e 8% das amostras respectivamente. A média de distância entre o assoalho da câmara pulpar à bifurcação foi $2,15 \pm 0,57$ mm. Em relação à análise por micro CT não foram encontradas diferenças estatísticas nas análises bidimensionais e 3-dimensional ($p > 0,05$). Todos os parâmetros analisados mostraram diferenças entre raízes, exceto para o comprimento das raízes, a configuração dos canais no terço apical, aspecto, volume e a área de superfície da secção transversal dos canais.

A partir de um estudo piloto, Lorenzoni *et al.* (2013), validaram a micro CT juntamente com MEV e, através dessa técnica não destrutiva e reconstrução 3D, quantificar o volume de bolhas no cimento e a interface adesiva de um pino de fibra de vidro cimentado em um elemento dentário. Um incisivo lateral superior extraído por problemas periodontais foi escaneado por micro CT criando um grande volume de dados em formato DICOM. O conjunto de imagens foi importado para o software de processamento e reconstrução de imagens para a visualização da arquitetura interna das estruturas. A superfície externa, a relação espacial entre dentina/pino de fibra de vidro/cimento/bolhas foi reconstruída. A arquitetura tridimensional e análise volumétrica revelaram que 9,9% do cimento resinoso foi composto por bolhas e revelou que a área de adesão entre dentina/cimento era 60,6% maior que a área entre cimento/pino de fibra de vidro. A imagem de microscopia eletrônica demonstrou a presença de vazios semelhante ao observado no micro CT, e pôde-se concluir que o micro CT é uma tecnologia capaz de medir de forma não destrutiva o volume de bolhas no cimento, avaliar o arranjo interno radicular e analisar a área de adesão intrarradicular.

Para analisar a influência dos diâmetros dos canais radiculares e pinos de fibra de vidro sobre o comportamento biomecânico da interface dentina/cimento/pino Lazari *et al.* (2013), utilizaram a análise por micro CT e elemento finito. Seis modelos foram construídos utilizando dados de imagens de micro CT e *software* de reconstrução SolidWorks 2007, variando o diâmetro do canal (C) e do pino de fibra de vidro (P): C1P1-C = 1 mm e P = 1 mm; C2P1-C = 2 mm e P = 1 mm; C2P2-C = 2 mm e P = 2 mm; C3P1-C = 3 mm e P = 1 mm; C3P2-C = 3 mm e P = 2 mm; e C3P3-C = 3 mm e P = 3 mm. A análise numérica foi realizada com ANSYS Workbench 10.0. Foi aplicada uma força oblíqua de 180 N a 45° na superfície palatina do incisivo central. A superfície do ligamento periodontal foi restringida nos três eixos ($x = y = z = 0$). Valores de tensão principal máxima (σ_{max}) foram avaliadas para a dentina radicular, a camada de cimento e pino de fibra de vidro. O valor de tensão no pino de fibra de vidro mais evidente foi observado no grupo C3P1 (32,3 MPa) e na camada de cimento foi observado no grupo C1P1 (43,2 MPa). A tensão na dentina radicular foi praticamente constante em todos os modelos, havendo pico de tensão em C2P1 (64,5 MPa). O estudo concluiu que a maior discrepância entre os diâmetros do canal radicular e do pino de fibra de vidro é favorável para a concentração de tensão na superfície do pino.

Através da micro CT, Rengo e colaboradores (2014), avaliaram área e volume de pinos, cimentos, espaços vazios/bolhas na interface de cimentação de pré-molares em formato oval restaurados com pinos ovais ou circulares. Amostra de 20 pré-molares extraídos foram divididos em 2 grupos de acordo com a broca e o pino utilizados: 1 (broca GC + pino circular GC); 2 (Ellipson tipTM + pino oval Ellipson postTM). Cada espécime foi escaneada pelo micro CT e as áreas e volumes (do canal, do espaço preparado, do pino, do cimento, das bolhas cervicais, médias e apicais) foram calculadas por um software de visualização tridimensional. O estudo teve como resultado que as áreas de vazios foram significativamente maiores a nível apical dos pinos ovais, mas não houve diferença estatística entre os níveis e entre os grupos. Independente da forma do pino, o volume de vazio e de cimento foi significativamente maior ao nível coronal. Pinos ovais geram volume de cimento duas vezes maior que pinos circulares, sendo esta diferença estatisticamente significante. O estudo concluiu que o volume de vazio-bolhas não depende da forma dos pinos. Entretanto, o volume de cimento foi maior nos pinos ovais em relação aos pinos circulares. Como relevância clínica, a análise por micro CT fornece

informações interessantes em relação à distribuição de bolhas e espaço vazio entre pino e a linha de cimentação, sendo relevantes para o clínico no momento da reconstrução de dentes com pinos intrarradiculares.

O estudo de Alfaro *et al.* (2015), compararam o ajuste interno de coroas de dissilicato de lítio fabricadas utilizando a tecnologia digital com coroas fabricadas por meios convencionais. Foram fabricadas 45 coroas de dissilicato de lítio: 15 pelo método do CAD/CAM (grupo 1); 15 por impressão digital mas com molde e fabricação convencional de laboratório (grupo 2); e 15 utilizando processo convencional de impressão e fabricação em laboratório (grupo 3). Um elemento dentário foi utilizado como controle, sendo preparado para restauração em cerâmica pura, após digitalização e criada réplica em zircônia como padrão ouro da restauração. Foram realizadas duplicações da restauração em zircônia, permitindo o ajuste interno de cada coroa para ser avaliada por micro CT. O volume total da interface entre coroa e término, a média da espessura máxima da interface e a porcentagem da interface (igual ou menor que 120 μm) foram calculados para cada grupo. O estudo demonstrou que o grupo 1 resultou em um menor volume de espaço interno na interface ($12,5 \pm 1,5 \text{ mm}^3$) em relação ao grupo 2 ($15,4 \pm 2,6 \text{ mm}^3$) e ao grupo 3 ($18,0 \pm 2,4 \text{ mm}^3$). A espessura média do espaço interno para o grupo 1 ($0,16 \pm 0,01 \text{ mm}$) e para o grupo 2 ($0,17 \pm 0,03 \text{ mm}$) foi significativamente mais baixas do que a do grupo 3 ($0,21 \pm 0,03 \text{ mm}$). A média da porcentagem do espaço interno de uma espessura de 120 μm foi diferente entre os três grupos: $46,7 \pm 5,7\%$ para o grupo 1, $37,1 \pm 17,7\%$ para o grupo 2, e $22,9 \pm 9,7\%$ para o grupo 3. Tridimensionalmente foram criadas representações do espaço interno. Os resultados do estudo sugerem que impressões digitais tem melhor ajuste interno em relação aos convencionais em termos de volume, espessura média e porcentagem de espaço interno.

A partir do uso de micro CT, Uzun *et al.* (2015), avaliaram a porcentagem de volumes vazios no interior da camada de cimento resinoso e determinou a resistência de união em pinos de fibra de vidro circulares e ovais cimentados com diferentes materiais em condutos ovais, correlacionando os valores de resistência de união por *push-out* e o volume de espaços vazios. Foram selecionados 62 pré-molares inferiores com canais ovais, divididos em dois grupos principais de acordo com o formato do pino (oval e circular). Os grupos foram divididos em três subgrupos de acordo com tipo de cimento resinoso: Maxcem Elite, RelyX Unicem e Duo-Link.

Os valores de espaços vazios no interior do cimento foram analisados por meio de micro CT. A resistência de união foi medida por *push-out* em uma máquina de ensaios universal. Avaliaram os modos de falha. Os valores de resistência de união foram significativamente afetados pelo terço radicular, tipo de pino e tipo de cimento. O terço radicular, o tipo de pino e o tipo de cimento foram significativamente afetados pela porcentagem de volumes vazios. Houve interação significativa entre tipo de pino e tipo de cimento. O tipo de falha mais comum foi a falha adesiva em todos os grupos. Não houve correlação estatística entre resistência de união e porcentagem de vazios. Concluíram que a porcentagem de volumes vazios não afetou a resistência de união em pinos ovais e circulares cimentados em condutos ovais.

Um estudo para avaliar o efeito da integridade do cimento resinoso autoadesivo, expresso pela presença de bolhas, sobre a distribuição de tensão, resistência adesiva e modo de falha de pinos de fibra cimentados à dentina radicular humana foi realizado por Silva *et al.* (2015). Dez incisivos centrais superiores humanos com canais radiculares circulares foram selecionados. Os mesmos foram seccionados com 15 mm e tratados endodonticamente. As raízes foram digitalizadas utilizando micro CT após preparo do pino para avaliação de remanescentes de material obturador. Pinos de fibra foram cimentados utilizando cimento autoadesivo (Rely X U200, 3M-ESPE). Duas fatias de 1 mm de espessura dos terços cervical, médio e apical foram escaneados para mensuração do volume de bolhas no cimento resinoso e submetidos ao teste de *push-out*. Três operadores classificaram o modo de falha utilizando microscopia confocal à laser e lupa estereoscópica. Distribuição de tensão foi analisada pelo método de elementos finitos 3D. Foi utilizado o coeficiente de Kappa para avaliar a concordância entre operadores. A resistência adesiva foi significativamente afetada pela presença de bolhas independentemente da profundidade radicular ($p < 0,05$). A concentração de tensão foi maior na presença de bolhas. Maior frequência de falha adesiva ocorreu na interface cimento/dentina. A microscopia confocal foi melhor do que estereomicroscopia para análise de falhas. A presença de bolhas afetou negativamente a distribuição de tensão e a resistência de união. Recomenda-se uso de microscopia confocal para análise de falhas.

De acordo com o estudo de Uzun *et al.* (2016) a partir do método de micro CT foi possível avaliar os parâmetros de espaços vazios no interior de cimento resinoso na cimentação de PFV e a força de união por *push-out*. Utilizaram 21 raízes

preparadas com broca de baixa velocidade seguido de tratamento endodôntico, divididas em três grupos (n=7). PFV foram cimentados com Maxcem Elite, Multilink N e Superbond C&B. Os espécimes foram digitalizados em micro CT com resolução de 13,7 μ m. Avaliaram o número, área e volume de espaços vazios entre a dentina e o PFV. Foi realizada análise por segmentação, e os terços coronal, médio e apical foram considerados separadamente. Após análise em micro CT as raízes foram incluídas em resina epóxica e seccionados em 2 mm de espessura para realização de teste *push-out* em máquina universal com velocidade de 0,5 mm/min. O estudo observou diferenças significativamente estatística entre os cimentos e o número/área/volume de espaços vazios. O cimento C&B apresentou maior formação de espaços vazios, Multilink N apresentou a superfície com menor área e volume de espaços vazios. Quando avaliou os cimentos, não foi observada relação direta entre o terço radicular e a resistência de união por *push-out*. O cimento Multilink N apresentou os menores parâmetros de espaços vazios. O estudo concluiu que o micro CT é uma importante ferramenta de análise 3D não destrutiva, sendo indicada para visualizar os parâmetros de espaços vazios.

2.4 CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO

Um estudo para avaliar a dureza de tratamentos com polímeros e para avaliar a resistência à tração dos compósitos resinosos foi realizado por Asmussen (1982). A dureza foi relacionada com a quantidade de ligações duplas que acontecem no polímero, sendo que os polímeros à base de Bis-GMA não apresentaram variação da dureza quando o monômero variou em relação ao conteúdo bi ou tri-funcional de diluição. O estudo afirmou que os polímeros ativados por luz são relativamente difíceis de comparar com materiais quimicamente ativados em relação à configuração adequada. A resistência à tração é correlacionada com a quantidade de ligações duplas remanescentes no polímero constituinte.

Em 1984, Davidson e de Gee, realizaram um estudo sobre contração de polimerização. As tensões de contração sob confinamento em paredes de compósitos resinosos foram mensuradas e relacionadas aos valores obtidos a partir da contração livre dos materiais. A tensão de contração dos materiais sob confinamento não foi contrastante com os resultados encontrados em compósitos não confinados, e concluíram que a contração é compensada pelo escoamento no lugar de perturbações internas.

De acordo com estudo realizado por Munksgaard (1987), diversas quantidades de micro-partículas, partículas condensadas, micro-partículas pré-polimerizadas ou macro-partículas foram adicionadas a uma resina fotoativada. O objetivo foi estudar a adaptação marginal das misturas experimentais entre resina e partículas de carga através da medição de contração de polimerização "parede a parede" em cavidades de dentina *in vitro*. O estudo mostrou que a adição de micro-partículas não afetou a contração de polimerização estudada, no entanto, as outras três formas de partículas de carga foram capazes de reduzir a contração de polimerização a partir do aumento da concentração de carga.

Um estudo de Feilzer *et al.* (1987), relacionaram a tensão de contração em resinas compostas em função da forma da restauração. A forma descrita para metodologia foi baseada no Fator de Configuração cavitária (fator C), sendo a razão de superfícies aderidas sobre superfícies não aderidas. De forma experimental, as restaurações foram simuladas em formas cilíndricas de diferentes dimensões e diferentes valores de Fator C. Mediu-se a tensão de contração continuamente após a fotoativação. Observaram que nas condições clínicas não se observa fator C superior a 2. Na maior parte das configurações de cavidade clinicamente relevantes, a adesão da resina composta à dentina pela ação dos adesivos dentários não é suficiente para suportar a tensão de contração contínua.

Um estudo realizado por Patel *et al.* (1987), afirmaram que a contração volumétrica percentual diminui quando se altera o tamanho do grupo lateral substituinte do polímero. A alteração do volume molar na polimerização de um éster de metacrilato é razoavelmente constante a 22 cc/mol, independente da geometria do grupo substituinte. A temperatura de transição do polímero depende da geometria do grupo lateral. Dessa forma, investigar éster de metacrilato de grande volume molar e com geometria do grupo lateral com temperatura de transição elevada deve ser estimulada para se desenvolver polímeros de baixa contração de polimerização.

Para determinar a previsão da durabilidade das resinas, Chung (1990) determinou os efeitos da concentração de cargas e componentes do compósito sobre as propriedades mecânicas. Extraíram componentes resinosos de sete resinas compostas através de solventes a base de clorofórmio e examinados pelo método de infravermelho transformada de Fourier (FTIR). A concentração de carga foi determinada pelo método termogravimétrico. Também realizou resistência à tração diametral, dureza *Knoop*, dureza *Barcol* através de procedimentos considerados

experimentais padrão. O teste de abrasão foi realizado por máquina de escovação equivalente a 5 anos e mediu-se a rugosidade. O grau de conversão dos compósitos variou de 43,5 a 73,8%. A fração de carga variou de 58,2 a 74,2%. Correlações significativas foram obtidas entre fração de carga e resistência à tração diametral e entre a fração de carga e a dureza *Knoop*. Os autores afirmaram que aumento da resistência relacionado a aumento da concentração de carga pode estar associado à ligação de carga com a matriz orgânica.

A contração de polimerização pós-gel de compósitos resinosos produz uma mudança volumétrica com desenvolvimento de módulo de elasticidade e distribui tensões contrácteis ao longo da interface dente/restauração. Em 1991, Sakaguchi e colaboradores realizaram um estudo sobre um novo método de monitorar a contração de polimerização de restaurações de compósitos utilizando medidores de tensão e resistência elétrica. O sistema de medidor de tensão (*strain gauge*) foi calibrado com dois medidores para mensurar a expansão dos materiais. Três tipos de compostos foram avaliados a partir da liberação de calor na polimerização e a contração durante a presa, durante fotoativação por 60 segundos. O estudo concluiu que o método *strain gauge* parece ser adequado para mensuração em tempo real do processo de polimerização e proporciona uma nova forma de estudar a cinética da polimerização.

O desenvolvimento de tensão de contração de polimerização foi determinado como uma função da área de superfície da porosidade, de modo que a contribuição de espaços vazios no compósito resinoso poderia ser investigada como um alívio de tensão. Alster *et al.* (1992), realizaram experimentos em 200 microns de espessura de camada de cimento resinoso em condições de adesão em paredes contidas. As amostras de cimento foram divididas em três grupos: A- sem porosidade, B- com número pequeno de poros, C- grande número de poros em comparação ao grupo B. Para cada grupo foram determinados a área de porosidade, a taxa de esforço máxima e o índice de desenvolvimento de tensão. A taxa de desenvolvimento de tensão e a tensão média máxima foram inversamente proporcionais à superfície média de porosidade. Estas características diferiram significativamente entre os grupos A e C. Para determinar a redução da tensão a partir da superfície de bolhas e a inibição da reação de polimerização do cimento na presença do oxigênio, composto resinoso contendo apenas bolhas de nitrogênio também foram testadas. O estudo indicou que a incorporação de bolhas/poros na manipulação do cimento

resinoso contribui para redução da tensão e pode ser considerada como uma contribuição para manutenção da integridade marginal.

Uma revisão de literatura realizada por Peutzfeldt em 1997, descrevem a história de monômeros utilizados em resinas compostas, destacando o desenvolvimento e pesquisas recentes no campo dos sistemas de monômeros dentários. Os monômeros na maioria das resinas compostas são baseados em Bis-GMA ou seus derivados. As principais deficiências das resinas compostas são a contração de polimerização e insuficiente resistência ao desgaste sob forças mastigatórias elevadas. O autor afirmou que ambos os fatores são altamente influenciados pelo sistema de monômeros, e esforços consideráveis estão sendo feitos para reduzir ou eliminar estas propriedades indesejáveis. Foi sugerida a utilização de monômeros liberadores de flúor para minimizar os efeitos negativos das fendas marginais formados em consequência da contração de polimerização, porém não existem dados na literatura que validam essa informação. Sistemas de monômeros que melhoram o grau de conversão de ligações duplas de metacrilato e suas propriedades mecânicas têm sido formulados e são esperados para melhorar a longevidade das restaurações de resina composta e possa expandir suas indicações.

Com intuito de aperfeiçoar o método de *strain-gauge* (extensometria) Sakaguchi *et al.* (1997), realizaram um estudo para medir a contração de polimerização de resinas compostas e isolar a contração pós-gel através de fatores que contribuem para as tensões medidas. A hipótese testada é que o método poderia isolar os eventos de contração pós-gel. Compósitos foram colocados em um *strain-gauge* biaxial e fotoativado. O método permitiu o registro em tempo real do progresso da contração que corresponde ao desenvolvimento do módulo de elasticidade. Os valores medidos pelo extensômetro foram calculados e representados em um gráfico em função do tempo. Calculou-se uma curva representativa a partir de 10 medições. Avaliaram fatores que influencia a medida total de contração: expansão térmica do medidor, expansão térmica do compósito devido à reação exotérmica e adesão do compósito ao manômetro. Os parâmetros foram medidos de modo que a deformação pode ser calculada. O estudo confirmou a hipótese que o extensômetro é capaz de medir a contração pós-gel, concluindo que o método de extensômetro é adequado para medir a contração de polimerização da fase pós-gel.

Com objetivo de determinar o efeito de UEDMA, Bis-GMA e TEGDMA nas propriedades mecânicas de resinas compostas selecionadas, Asmussen e Peutzfeldt (1998), realizaram um estudo com 30 misturas de monômeros de TEGDMA e Bis-GMA e/ou UEDGMA, em diferentes concentrações. Resistência à tração diametral, resistência à flexão e módulo de elasticidade foram determinadas nas amostras após uma semana. A resistência à tração diametral dos compósitos variou entre 52 e 59 MPa, a resistência à flexão entre 137 e 167 MPa, e o módulo de elasticidade entre 8,0 e 11,1 GPa. A substituição de Bis-GMA ou TEGDMA por UEDMA resultou em aumento na resistência à tração e à flexão, e a substituição de Bis-GMA por TEGDMA aumentou a resistência à tração, mas reduziu a resistência à flexão. Além disso, o estudo verificou que, para um dado teor de UEDMA, as variações na razão Bis-GMA/TEGDMA deram origem a um pico máximo no módulo de elasticidade, sendo que o pico máximo diminuiu com o aumento do teor de UEDMA. O estudo concluiu que, variando as quantidades relativas de UEDMA, Bis-GMA TEGDMA gera um efeito significativo sobre as propriedades mecânicas do compósito resinoso. Dessa forma, selecionando combinações específicas destes componentes, pode ser possível conceber compósitos com propriedades que são feitos à medida para aplicações específicas.

A literatura é escassa em relação à morfologia e presença de carga em compósitos em relação aos seus efeitos sobre propriedades mecânicas e resistência à fratura. Kim *et al.* (2002), realizaram um estudo com os objetivos: 1- classificar os compósitos resinosos de acordo com a morfologia da carga, 2- avaliar a influência da morfologia da carga sobre a porcentagem total de cargas, 3- avaliar o efeito da morfologia da carga sobre propriedades mecânicas (dureza, resistência à flexão, módulo de flexão e resistência à fratura). Foram realizados testes de MEV e espectroscopia de energia dispersiva para classificar 3 amostras de cada um dos compósitos comerciais em 4 grupos, de acordo com a morfologia da carga. O peso do conteúdo orgânico foi determinado e o teor de volume foi calculado a partir da porcentagem de peso e densidade dos componentes. A microdureza foi medida por dureza de Vickers e a resistência à flexão e módulo de elasticidade foram medidas por máquina de ensaio universal. Os compósitos foram classificados em: pré-polimerizado, forma irregular, pré-polimerizado e irregular, redondas. Compósitos com partículas de carga pré-polimerizadas apresentaram menor teor de carga (25% a 51% de volume de carga), enquanto compostos com partículas redondas

apresentaram maior teor de carga (59% a 60% de volume de carga). As propriedades mecânicas foram relacionadas com o conteúdo de carga, compósitos com maior volume de carga exibiram elevada resistência à flexão (120-129 MPa), elevado módulo de flexão (12 a 15 MPa) e alta dureza (101 a 117 VHN). Os autores concluíram que, dentro das limitações do estudo, os compósitos testados podem ser classificados pela morfologia de carga, e este fator influencia a resistência à flexão, o módulo de flexão, a dureza e a resistência à fratura.

Para comparar a tensão de contração de cimentos resinoso dual e fotoativado e verificar o efeito sobre a microinfiltração e formação de fendas em restauração classe I restauradas com *inlays* de porcelana, Braga *et al.* (2002) realizaram MEV. Foram utilizados cimentos resinosos (Calibra, Choice e RelyX ARC), a tensão de contração foi monitorado no tensilômetro durante 30 minutos na presença ou ausência de fotoativação. A microinfiltração foi avaliada a partir de *inlays* em porcelana cimentadas a cavidades criadas em dentes bovinos, combinando o mesmo sistema adesivo (One-Step) com o cimento e o modo de ativação. As amostras foram preparadas e analisadas em MEV para determinar a porcentagem de margens descontínua. O estudo apresentou como resultado que a tensão de contração foi superior para os cimentos duais em relação ao cimento de auto-cura. O cimento Calibra não apresentou nenhuma diferença significativa na infiltração entre os modos de ativação. A contração apresentou variação nos resultados e não foram detectadas diferenças estatísticas. A formação de fendas e lacunas ocorreu mais frequentemente em dentina, com média de 17,5%. Concluiu-se que o maior tensão gerada no cimento dual pode levar a maiores valores de infiltração marginal. Na condição de confinamento pelas paredes dentárias, até mesmo a menor tensão de contração tem magnitude suficiente para perturbar a união à dentina.

Um estudo realizado por Watts *et al.* (2003), teve como objetivo traçar parâmetros para nova metodologia para contração de polimerização para os materiais fotoativados. Os autores afirmaram que valores absolutos de tensão mensuráveis para um dado material dependem da geometria e da rigidez do sistema de medição, sendo que um sistema rígido tende a medir uma tensão erroneamente. Dentes e suas cavidades não apresentam a mesma rigidez, apresentando conformidade elástica e visco-elástica. O estudo foi capaz de gerar um novo dispositivo, sendo um sistema prático e auto-suficiente para a medição rápida e precisa da cinética de tensão em materiais fotoativados.

Em 2004, Versluis *et al.*, realizaram um estudo para calcular e validar a associação entre tensão de contração e as deformações em dentes restaurados. Os autores avaliaram que medidas experimentais em diversas configurações de restauração têm demonstrado que dentes restaurados sofrem deformação sob influência de contração de polimerização, porém as tensões residuais não podem ser determinadas. Três configurações diferentes de restauração foram submetidas a elemento finito. As propriedades do compósito foram no comportamento experimental durante a polimerização. O padrão de deformação oclusal, os estados de tensão residual do dente, a interface dente-restauração foram calculados a partir do modelo de polimerização baseados com conceito de contração pós-gel. Para validação, utilizaram as medições de tensão relatadas e os padrões de deformação oclusais. Verificaram que a tensão de contração depende da configuração e tamanho das restaurações, sendo que a resistência do dente em relação à contração de polimerização diminui com a perda de tecido dentário. Restaurações consideradas grandes resultaram em níveis de tensão na interface dente/restauração mais baixos, porém houve aumento na tensão gerada no dente. Os valores encontrados para as diferentes configurações de restauração foram significativamente estatísticos. O estudo concluiu que a tensão de contração não pode ser baseado apenas em propriedades dos compostos ou da configuração da restauração, devendo ser abordado como um padrão que depende da localização e propriedade do dente e da restauração, da geometria presente e dos procedimentos utilizados para o tratamento.

Para avaliar a contração, tensão de contração, módulo de elasticidade e fator de escoamento, Kleverlaan e Feilzer (2005), utilizaram 17 resinas compostas disponíveis no mercado. O estudo apresentou forte correlação linear para as resinas compostas com a tensão de contração, para a tensão de contração e módulo de elasticidade e para módulo de elasticidade e tração. O teor de resina não polimerizada tem influência sobre a contração, a tensão de contração e o módulo de elasticidade. Altas taxas de contração e tensão de contração podem levar ao fracasso da união entre resina composta e estrutura dentária. O teor de resina não polimerizada é capaz de determinar a quantidade de contração e a tensão de contração.

A partir de um estudo *in vitro*, Braga *et al.* (2006), avaliaram a influência das dimensões da cavidade no desenvolvimento de tensões de contração e

microinfiltração em restaurações de resina composta. Foram utilizadas cavidades cilíndricas com 2, 3, 4 ou 6 mm de diâmetro e profundidade de 1 ou 2 mm, preparadas em incisivos bovinos (com margem em esmalte) e reproduzidas em resina fotoelástica. As cavidades foram restauradas pela técnica incremental (Single Bond + Z250). A tensão de contração foi analisada 10 minutos após a fotoativação. Os dentes foram armazenados por 24 horas, revestidos com base para unha e imersos em 50% AgNO_3 durante 2 horas, seguido de 6 horas em solução reveladora. Os espécimes foram seccionados duas vezes e a infiltração foi medida. Os dados da resina fotoelástica foram analisados de forma descritiva devido à falta de variabilidade de alguns grupos. Foi avaliada a relação entre microinfiltração e volume/fator C. A tensão de contração foi maior nos ângulos internos em relação às margens da restauração. Houve tendência de aumento da tensão de contração quando o diâmetro e profundidade aumentaram. O efeito do diâmetro em relação a infiltração é significativamente maior para restaurações com profundidade de 2 mm em comparação com aqueles com 1 mm de profundidade. O estudo sugeriu uma relação entre infiltração e volume da restauração, porém não houve relação entre infiltração e fator C. O estudo concluiu que a tensão de contração e a infiltração foram maiores em restaurações com diâmetros e profundidades maiores. A microinfiltração para estar relacionado com o volume da restauração, porém não apresenta relação com o fator C.

Um estudo realizado por Dewaele *et al.* (2006), determinaram com precisão a contração do volume de polimerização de resinas puras e relacionou com o número de ligações duplas e com o grau de conversão. Os autores afirmaram que a contração de polimerização e o grau de conversão de resina composta são manifestações de um mesmo processo. Um compósito ideal é aquele que possui um grau ótimo de conversão e contração de polimerização mínima. Foram analisadas diferentes misturas de Bis-GMA e TEGDMA que são monômeros tradicionalmente utilizados. A contração de polimerização e o grau de conversão foram determinados. O estudo encontrou relação entre contração de volume e número de ligações duplas ($\text{C}=\text{C}$), com valor de contração de $20,39 \text{ cm}^3/\text{mol}$ a partir de 27 medições. Este resultado encontrado ajuda a solucionar o problema da contração de polimerização. Uma redução na contração de polimerização devido à reação química pode ser esperada a partir da adição de moléculas que permitem a diminuição do número de ligações duplas por unidade de volume da matriz resinosa, mantendo o grau de

conversão e as propriedades mecânicas. Os autores afirmam que mais estudos são necessários para concluir este objetivo.

Um estudo realizado por Berger *et al.* (2009), mediram a absorção de água e solubilidade de três resinas compostas que contêm diferentes conteúdos de carga, e verificar o tamanho, forma, tipo e outras características dos materiais de carga por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As partículas de carga foram observadas após remoção da matriz com solventes orgânicos. Os valores de absorção de água não foram diferentes entre as amostras. Os materiais apresentaram diferenças no conteúdo de carga (tamanho de partículas e forma) e apresentaram diferentes valores de solubilidade.

O fracionamento de monômeros dos compósitos influencia a biocompatibilidade de restaurações dentárias, segundo Polydorou *et al.* (2009). O propósito do estudo foi investigar o fracionamento de monômeros bisfenol-A metacrilato de glicidil (BisGMA), dimetacrilato de trietilenoglicol (TEGDMA), dimetacrilato de uretano (UDMA), e bisfenol A (BPA)] a partir de dois materiais fotopolimerizáveis e a partir de um quimicamente ativado, em tempos diferentes de ativação (0, 20, 40 e 80 segundos) e em diferentes períodos de armazenamento (24h, 7d, 28d e 1 ano) em etanol a 75%. As amostras foram analisadas por espectrometria de massa com cromatografia líquida. Os compósitos nanohíbridos liberaram menos monômeros com o aumento do tempo de ativação, e os compósitos fotoativados apresentaram maior grau de liberação de monômeros aos 80 segundos. O estudo concluiu que, embora a separação de TEGDMA diminuir significativamente após armazenamento de 28 dias e 1 ano, uma quantidade similar de BisGMA foi liberada em cada momento de armazenamento analisado.

O objetivo do estudo realizado por Boaro *et al.* (2010), foi comparar a tensão de polimerização de compósitos obtidos a partir de polimetacrilato de metila (PMMA) ou partículas de vidro como substratos de ligação e comparar os resultados com a microinfiltração in vitro de restaurações de resina composta. A hipótese testada foi de que os valores de tensão obtidos em um sistema com PMMA apresentariam melhores relações com os dados de microinfiltração. Foi avaliado o módulo de elasticidade dos compósitos. Após armazenamento os espécimes foram submetidos à penetração de AgNO₃ como marcador, os espécimes foram seccionados de forma perpendicular sob ampliação de 20x. A hipótese testada foi confirmada, os

compósitos com PMMA apresentaram melhores resultados no teste de tensão de polimerização e no teste de infiltração.

Um estudo de Ilie e Hickel (2011), examinaram o desenvolvimento das resinas compostas e suas desvantagens (como a contração de polimerização), avaliando os pontos fortes dos materiais e suas implicações clínicas. Avaliaram as diferenças entre as categorias dos compósitos classificados como híbrida, nanohíbrida, micropartícula, compactáveis, à base de compômeros (poliácido silorano modificado) e compósitos de baixa viscosidade. O artigo teve como objetivo estabelecer as necessidades e desejos clínicos para o desenvolvimento de compósitos à base de resina ideal.

Para caracterizar os componentes inorgânicos e a morfologia das partículas de carga de cimentos resinosos convencionais e auto-adesivos, Aguiar e colaboradores (2012), avaliaram os componentes por espectroscopia de dispersão de energia por microanálise de raio-X (EDX) e as partículas de carga por MEV. Quatro cimentos resinosos foram utilizados: dois cimentos convencionais (RElyX ARC/3M ESPE e Clearfil Esthetic Cement/Kurakay Medical Inc.) e dois cimentos autoadesivo (RelyX Unicem/3M ESPE e Clearfil SA Luting/Kurakay Medical Inc.) Os materiais foram manipulados de acordo com o fabricante e imersas em solventes orgânicos para eliminar a fase orgânica, e observados por EDX e MEV. As medições por EDX mostrou alta quantidade de sílica para todos os cimentos e identificou diferenças na composição dos elementos de cada material testado. O cimento RelyX ARC apresentou partículas esféricas e irregulares, enquanto os outros cimentos apresentaram partículas irregulares. O cimento autoadesivo apresentou partículas de carga maiores que os cimentos resinosos convencionais.

Um estudo realizado por Soares *et al.* (2013), tiveram como objetivo investigar como a técnica incremental, o módulo de elasticidade e a contração pós gel de diferentes compósitos resinosos podem afetar a tensão de contração residual em pré-molar. Total de 16 compósitos utilizados para restauração de dentes posteriores foram testados. Módulo de elasticidade e dureza Knoop foram medidos por teste de endentação (n=10). Para medir a contração pós-gel foi utilizado o método de extensometria (*strain gauge*) (n=10). Duas técnicas incrementais (horizontais ou oblíquas) foram aplicadas em um modelo de elementos finitos de pré-molar de acordo com as propriedades experimentalmente determinadas para avaliar as condições de tensão ao longo da interface da restauração e no interior do material.

O estudo afirmou que as propriedades mecânicas e a contração pós-gel variaram significativamente entre os compósitos testados. A tensão de contração apresentou forte correlação com a contração pós-gel e uma correlação mais fraca com o módulo de elasticidade. A técnica incremental oblíqua gerou menor tensão de contração residual ao longo da interface restauração/esmalte comparado com a técnica horizontal. O estudo concluiu que a tensão residual variou significativamente entre os compósitos utilizados para restaurações posteriores. Afirmaram que a tensão de contração está correlacionada com a contração pós-gel, e a técnica incremental oblíqua resulta em tensões residuais menores que a técnica incremental horizontal.

O estudo de Pereira *et al.* (2015), testaram a hipótese que o tempo de fotoativação do cimento resinoso pode afetar as propriedades mecânicas e resistência de união de pinos de fibra de vidro em dentina radicular com diferentes profundidades. Utilizaram PFV (Exacto, Angelus) e cimento resinoso (RelyX Unicem - 3M ESPE, Panavia - Kurakay ou RelyX ARC - 3M ESPE), e três tempos de fotoativação: imediatamente, após 3 minutos e após 5 minutos. Foi feito teste *push-out* (n=10) em cada terço radicular (coronal, médio e apical). O módulo de elasticidade (E) e a dureza Vickers (VHN) da camada de cimento ao longo do canal foram determinados por endentação dinâmica (n=5). Foi utilizado teste para medir tensão de contração pós-gel de cada cimento (n=10) e tensão de contração residual foi avaliada com análise de elementos finitos. O estudo concluiu que a resistência de união por *push-out*, E e VHN dos cimentos resinosos foram afetados pelo tempo de fotoativação pelo tipo de cimento resinoso e pela região do canal radicular. A resistência de união aumentou gradualmente com o tempo de fotoativação atrasado. Valores de *push-out* superiores foram obtidas pelo cimento RelyX Unicem com 5 minutos de fotoativação. A maior força de união é encontrada no terço coronal, sendo reduzida significativamente na região apical. A tensão de contração residual diminuiu com fotoativação de 3 e 5 minutos em comparação com a fotoativação imediata.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar a linha de cimentação de pinos de fibra de vidro no interior de condutos radiculares preparados com dois tipos de brocas e fixados com dois tipos de cimento.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o volume da linha de cimentação de dois cimentos resinosos empregados na fixação de pinos de fibra de vidro em condutos preparados com broca largo convencional ou broca específica indicada pelo respectivo fabricante.
- Avaliar a porcentagem total de porosidades na linha de cimentação de dois cimentos resinosos empregados na fixação de pinos de fibra de vidro em condutos preparados com broca largo convencional ou broca específica indicada pelo fabricante.
- Medir o grau de contração pós-gel dos dois cimentos resinosos.

4 HIPÓTESES NULAS

- Não haverá diferença entre o volume da linha de cimentação dos dois cimentos resinosos empregados na fixação de pinos de fibra de vidro em condutos preparados com broca largo convencional ou broca específica indicada pelo respectivo fabricante.
- Não haverá diferença entre a porcentagem total de porosidade na linha de cimentação de dois cimentos resinosos empregados na fixação de pinos de fibra de vidro em condutos preparados com broca largo convencional ou broca específica indicada pelo fabricante.
- Não haverá diferença no grau de contração pós-gel entre os dois cimentos resinosos.

5 METODOLOGIA

5.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Estudo *in vitro* qualitativo e quantitativo comparativo. As variáveis independentes analisadas foram tipo de broca empregada para o preparo do conduto radicular em 2 níveis: broca do tipo Largo (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) X broca específica do fabricante Broca White Post DC 2 (FGM Produtos Odontológicos, Joinville, Brasil) e tipos de cimento resinoso em 2 níveis: Allcem (FGM Produtos Odontológicos, Joinville, Brasil) e RelyX™ U200 (3M ESPE, St Paul, EUA). As variáveis-resposta analisadas foram: volume da linha de cimentação, porcentagem total de porosidade na linha da cimentação e grau de contração de polimerização pós-gel dos cimentos resinosos.

5.2 SELEÇÃO DOS DENTES

O estudo empregou dentes incisivos inferiores bovinos, unirradiculares, extraídos após abatimento do animal no abatedouro Frigorífico Santa Vitória, localizado em Contagem/MG, CNPJ: 01.650.036/0001-83, e doados à pesquisa (Anexo I), de acordo com as resoluções do Comitê de Ética da UFMG e armazenados em solução de timol 0,1% a 4° C por até 90 dias. Os critérios de seleção foram: incisivo inferior com similaridade anatômica externa e interna (comprimento e diâmetro), com ápice completamente formado e sem curvatura radicular. Os critérios de exclusão foram: dentes com curvatura radicular significativa, dentes com fratura radicular e dentes com ápice aberto.



Figura 1: Critérios de exclusão: dentes com ápice radicular aberto e dentes com curvatura radicular significativa, evidenciados pela seta.

5.3 TAMANHO DA AMOSTRA

Para se testar estatisticamente a hipótese nula anunciada foi utilizada uma amostra de conveniência de $n=3$, totalizando a amostra em 12 espécimes. O método de micro CT é um método extremamente oneroso e demanda muito tempo para análise de cada amostra.

5.4 PREPARO DOS DENTES

Os dentes foram cortados no limite amelocementário (Figura 2) utilizando um disco diamantado (Discoflex, KG Sorensen, Cotia, Brasil) e armazenados em água destilada refrigerada a 4°C por 96 horas previamente ao tratamento endodôntico para a adequada hidratação dos espécimes. Em seguida, as raízes foram submetidas a exame radiográfico (Filme radiográfico E-speed, Kodak) em duas angulações a fim de verificar a presença de apenas um canal radicular e a conformação do conduto radicular (Figura 3). Para padronização do comprimento, os espécimes foram seccionados na cortadeira metalográfica de precisão (Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, EUA) de forma a garantir raízes com comprimento de 15 mm, verificado por régua endodôntica (Figura 4). Para padronização do diâmetro, os espécimes foram selecionados a partir da ponta ativa da broca Largo (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) número 3 (Figura 5). Os condutos que apresentaram resistência para entrada da broca Largo foram selecionados e os demais foram excluídos (DALEPRANE *et al.*, 2014; MESQUITA *et al.*, 2013).



Figura 2: Espécimes seccionados no limite amelocementário.

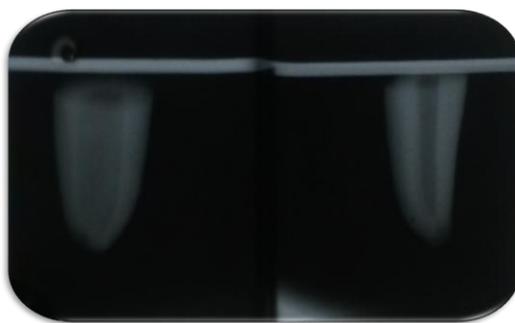


Figura 3: Exame radiográfico das raízes em duas angulações.



Figura 4: Padronização do comprimento do espécime em 15 mm.



Figura 5: Padronização do diâmetro do espécime com a broca Largo número 3.

5.5 TRATAMENTO ENDODÔNTICO DAS RAÍZES

Tecidos pulparem remanescentes foram removidos dos canais radiculares com a lima *K-file* #10 (Dentisply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Os canais foram anatomizados por instrumentos rotatórios de níquel-titânio Sistema Protaper Universal (Dentisply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com o equipamento Xmart com

torque a 3,5 N/cm e velocidade de 350 rpm (Dentsply, Petrópolis, Brasil). Entre cada instrumento utilizado, os canais foram irrigados com 5 ml de hipoclorito de sódio a 2.5% (Biodinâmica, Ibiporã, Brasil) e solução de ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) (Biodinâmica, Ibiporã, Brasil) foi utilizada para irrigação final antes da obturação para limpeza do conduto. Os canais foram obturados com guta-percha (Odous, Belo Horizonte, Brasil) e cimento à base de resina epóxica (AH Plus, Dentsply, Petrópolis, Brasil), usando a técnica de condensação lateral (para garantir que o diâmetro do canal fosse avaliado após o tratamento endodôntico). Foi tomada uma radiografia final com o propósito de certificar a qualidade final da obturação. Em seguida, os espécimes foram armazenadas em água destilada a 37°C por 7 dias (DALEPRANE *et al.*, 2014; MESQUITA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015).

5.6 MATERIAIS

Os materiais e grupos utilizados no estudo estão descritos respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Nome, fabricante e composição básica do pino e das brocas utilizadas e diâmetros das brocas utilizadas.

Nome	Fabricante	Composição básica	Diâmetros das brocas (mm)
Pino de fibra de vidro White Post DC	FGM Produtos Odontológicos, Joinvile, Brasil	Pinos de fibra de vidro número 02. Composição: fibra de vidro, resina epóxica, carga inorgânica, silano.	
Broca White Post DC	FGM Produtos Odontológicos, Joinvile, Brasil	Aço inoxidável.	Apical: 1,00 Médio: 1,26 Cervical: 1,65
Broca Largo número 5 Convencional	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça	Aço inoxidável.	Apical: 0,53 Médio: 1,20 Cervical: 1,20

Tabela 2: Descrição dos grupos experimentais.

Pino	Broca utilizada	Cimento resinoso
White Post DC 2	Broca White Post DC 2	Allcem
White Post DC 2	Broca White Post DC 2	RelyX™ U200
White Post DC 2	Broca Largo #5	Allcem
White Post DC 2	Broca Largo #5	RelyX™ U200

Previamente ao preparo dos condutos, os espécimes foram posicionados perpendicularmente ao solo e fixados em cera utilidade sobre uma placa de vidro para promover apoio durante o manuseio (Figura 6).

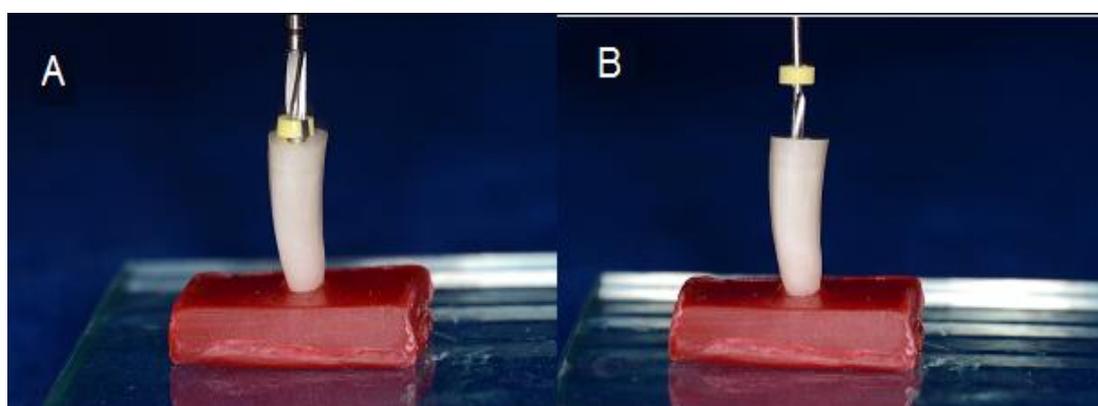


Figura 6: Preparo do conduto intrarradicular com a broca indicada de acordo com a tabela. A: broca específica do fabricante DC número 2. B: broca Largo número 5.

5.7 PREPARO DO CONDUTO E CIMENTAÇÃO DOS PINOS INTRARRADICULARES

Os espécimes foram numerados e identificados e o processo de aleatorização foi realizado por sorteio pelo programa Excel a cada passo e tipo de tratamento. Para o preparo do conduto radicular, a guta percha foi removida do interior do conduto com o cuidado de sempre manter 5 mm de guta percha na região apical, garantindo o selamento da obturação endodôntica e um comprimento de trabalho de 10 mm (ZANATTA *et al.*, 2015), o preparo foi realizado com padronização da pressão e do número de inserção da broca no conduto radicular. Para o preparo do conduto, 6 espécimes foram preparados com a broca do fabricante White Post DC 2 e 6 espécimes foram preparados com a broca Largo número 5.

Previamente à cimentação, os pinos de fibra de vidro foram imersos em peróxido de hidrogênio a 35% (FGM Produtos Odontológicos, Joinville, Brasil), por um minuto, para exposição das fibras, em seguida, foram lavados por 1 minuto e secos com jatos de ar (Figura 7 A). Posteriormente, uma camada do agente Silano (Angelus, Londrina, Brasil) foi aplicada com auxílio de *microbrush* por 1 minuto. O excesso de silano foi removido, bem como o solvente foi evaporado, com jatos de ar por 5 segundos, seguindo as recomendações do fabricante (PEREIRA *et al.*, 2015) (Figura 7 B).



Figura 7: A: aplicação de peróxido de hidrogênio a 35%. B: aplicação do agente silano no pino.

O preparo da superfície intrarradicular e o processo de cimentação dos pinos estão descritos na Tabela 3. Para a fotoativação do sistema adesivo e dos cimentos resinosos foi utilizado o aparelho de luz halógena de quartzo-tungstênio (OptiLux 501, Demetron Kerr, Orange, EUA) com potência de 600 mW/cm² de acordo com o estudo de Pereira *et al.* (2015). No momento da cimentação, as raízes foram cobertas em toda sua lateral com fita isolante preta (Figura 10), a fim de se evitar influência da luz ambiente e garantir maior similaridade com o ambiente bucal.



Figura 8: A: aplicação de ácido fosfórico 37%. B: aplicação de sistema adesivo Ambar no interior do conduto radicular.



Figura 9: Aplicação de hipoclorito de sódio a 2,5% previamente à cimentação com RelyX™ U200



Figura 10: Inserção do cimento resinoso e do pino no conduto e fotoativação

Tabela 3: Nome, fabricante, composição dos materiais utilizados e instruções para a cimentação dos pinos

Nome	Fabricante	Composição	Instruções
Silano	Angelus, Londrina, Brasil	Silano e etanol. Fórmula química: X-R-Si(OR) _{3n}	Aplicar silano no pino por 60 segundos
Peróxido de Hidrogênio – 35%	FGM Produtos Odontológicos, Joinville, Brasil	Peróxido de Hidrogênio a 35%, Espessante, corante vermelho, glicol e água	Aplicar peróxido de hidrogênio no pino por 60 segundos, lavar rigorosamente por 2 minutos e secar com jato de ar.
Ácido fosfórico –	FGM Produtos Odontológicos,	Ácido fosfórico a 37%, espessante, corante e	Aplicar gel de ácido fosfórico 37% por 15

<p>Condac 37%</p>	<p>Joinville, Brasil</p>	<p>água deionizada</p>	<p>segundos no interior do conduto radicular. Lavar rigorosamente e remover o excesso de água com cones de papel absorvente (Figura 8).</p>
<p>Sistema adesivo Ambar</p>	<p>FGM Produtos Odontológicos, Joinville, Brasil</p>	<p>Ingredientes ativos: MDP (10-metacriloiloxidecil dihidrogênio fosfato) monômeros metacrílicos, fotoiniciadores, co-iniciadores e estabilizante. Ingredientes inativos: carga inerte (nanopartículas de sílica) e veículo (etanol).</p>	<p>Aplicar o sistema adesivo Ambar com auxílio de <i>microbrush</i> e fotoativar por 20 segundos (Figura 8).</p>
<p>Cimento resinoso Allcem</p>	<p>FGM Produtos Odontológicos, Joinville, Brasil</p>	<p>Seringa de pasta base e de pasta catalisadora. Pasta base: monômeros metacrílicos (como TEGDMA, BisEMA e BisGMA), canforoquinona, co-iniciadores, micropartículas de vidro de bárioalumino-silicatos, nanopartículas de dióxido de silício,</p>	<p>Após preparo do conduto e do pino, dispensar a quantidade adequada do cimento resinoso Allcem proporção 1:1 sobre um bloco de espatulação. Misturar as duas pastas com espátula plástica durante 10 segundos. Aplicar o cimento no</p>

		<p>pigmentos inorgânicos e conservantes</p> <p>Pasta catalisadora: monômeros metacrílicos, peróxido de dibenzoila e estabilizantes, micropartículas de vidro de bário-alumino-silicatos. A mistura da pasta base e catalisadora na proporção 1:1 apresenta aproximadamente 66 - 67% de carga em peso.</p>	<p>interior do conduto radicular com auxílio da seringa Centrix (DFL, Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, Brasil). Posicionar o pino no conduto radicular. Proceder a fotoativação durante 40 segundos em três inclinações para fixação do pino na posição.</p>
<p>Cimento resinoso RelyX™ U200</p>	<p>3M ESPE, St Paul, EUA</p>	<p>Pasta base: pó de vidro tratado com silano, ácido 2-propenóico, TEG-DMA, fibra de vidro, persulfato de sódio</p> <p>Pasta catalisadora: pó de vidro tratado com silano, dimetacrilato substituto, sílica tratado com silano, sais de cálcio, hidróxido de cálcio, dióxido de titânio. A mistura da pasta base e catalisadora na proporção 1:1 apresenta</p>	<p>Aplicar hipoclorito de sódio a 2,5% por 60 segundos, lavar e secar com cone de papel absorvente, para limpar o conduto, segundo indicação do fabricante (Figura 9). Dispensar o cimento em um bloco de espatulação e misturar com espátula durante 10 segundos. Aplicar o cimento no interior do conduto radicular com auxílio da seringa Centrix. Posicionar o pino no conduto</p>

		aproximadamente 72% de carga em peso.	radicular e proceder a fotoativação durante 40 segundos em três inclinações para fixação do pino na posição.
--	--	---------------------------------------	--

5.8 MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA (MICRO-CT)

O equipamento de microCT utilizado foi o SkyScan 1272 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica). Trata-se de um sistema compacto de microtomografias composto por uma microfona de raios-X, um detector de raios-X (câmara), um manipulador de objeto para posicionamento e rotação das amostras e equipamentos eletrônicos associados (Figura 11). A microtomografia computadorizada foi realizada no equipamento do Centro de Pesquisa de Biomecânica, Biomateriais e Biologia Celular (CPBio), da Universidade Federal de Uberlândia – UFU.



Figura 11: Micro-CT (SkyScan 1272 – Bruker) utilizado para análise do volume de cimento e das porosidades no interior do cimento e da interface dentina/cimento.

As amostras foram inseridas no equipamento de micro-CT sempre na mesma posição (Figura 12) e os parâmetros foram estabelecidos para todas as amostras da seguinte forma: filtro de cobre (Cu) de 0,11 mm, resolução em pixels de 1224 X 820, voltagem de 100 KV, corrente de 100 μ A e tempo de escaneamento de aproximadamente 30 minutos.

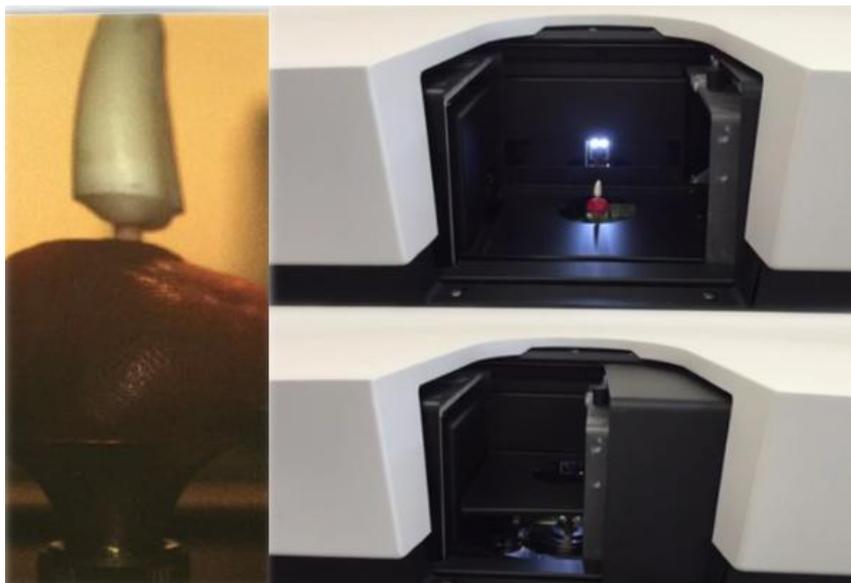


Figura 12: inserção da amostra no interior do micro-CT

Após a digitalização, as reconstruções das fatias virtuais das amostras foram realizadas. Para estas reconstruções das imagens de projeção foi utilizado o programa NRecon (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica). No momento da reconstrução, para padronização do comprimento digital de todas as amostras, foram selecionadas 760 fatias entre topo e base da amostra a partir do início do pino na porção apical. Em seguida, foi selecionado o mesmo ranqueamento em uma escala de cinza para todas as amostras, padronizados entre os valores mínimo de 0 e máximo de 0,091893. Nenhuma correção de imagem foi realizada (Figura 13).

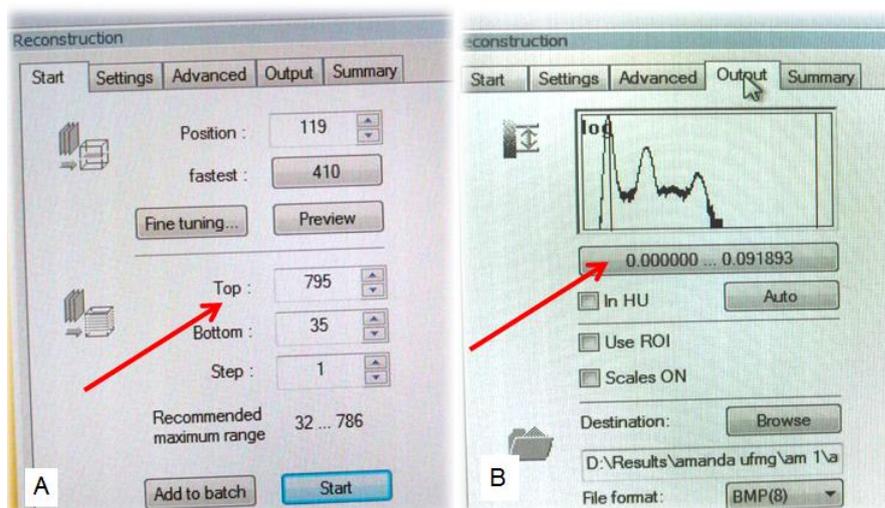


Figura 13: A: padronização do comprimento digital. B: ranqueamento em amostra de cinza

Na sequência, foi utilizado o programa CTAn (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) para a análise dos resultados e renderização de volume. Foi selecionado sempre o mesmo número de fatias conforme a reconstrução. A primeira etapa foi definir o ROI (*region of interest*) que corresponde à área de interesse específica para análise dos resultados. O ROI foi representado por toda a área preparada para a cimentação do pino de fibra de vidro (Figura 14). Após a seleção da área de interesse, foi realizado a binarização das estruturas, sendo marcadas de branco as estruturas analisadas e de preto as estruturas não consideradas na análise.

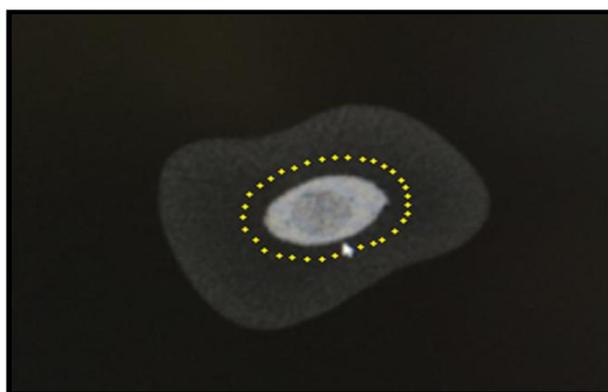


Figura 14: Definição digital da área de interesse (ROI: *region of interest*)

Na sequência, foi solicitado que o programa fizesse a análise morfométrica 3D. Foram obtidos os valores de volume de cimento (em mm³) e porcentagem de porosidade na linha de cimentação (em %) (SILVA *et al.*, 2015).

5.9 CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO PÓS-GEL DOS CIMENTOS RESINOSOS

Amostras dos cimentos manipuladas conforme orientação dos fabricantes (n=10) com volume de 2 mm x 2 mm com 1 mm de espessura foram inseridas sobre o extensômetro bidirecional (CEA-06-032WT-120 M & M, Raleigh, EUA). A fotoativação foi realizada com unidade de luz halógena de quartzo-tungstênio, posicionada com a ponteira distando 1 mm do extensômetro e acionada por 40 segundos sendo os sinais de intensidade luminosa capturados por um sensor fotocélula (Sanyo AM-1417, Panasonic Ecosolutions Amorton Co., Oregon, EUA) (Figura 15) (BICALHO *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2015). Para obtenção dos valores de contração volumétrica, foi empregado a fórmula de transformação dos resultados de contração linear em volumétrica, segundo Sakaguchi *et al.*, em 1997, exportada para planilha Excel e apresentada em porcentagem. O medidor de tensão converte

alterações de resistência elétrica em alterações de tensão a partir de um circuito fechado e uma resistência interna. Os medidores perpendiculares captam a deformação inicial e final nos eixos X e Y e geram os valores de microdeformação em *microstrain*. A partir da média das microdeformações, obtém-se o valor de variação dimensional em *microstrain*. Divide-se este valor em 100^3 para obter-se a dimensão linear. O valor da contração linear é submetido a uma fórmula para obtenção da contração volumétrica em porcentagem, sendo que, para transformar o valor em porcentagem, multiplica-se por 100 e, para obter os valores de variação volumétrica, multiplica-se por 3 (BICALHO *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2015). Os valores são captados durante 10 minutos, incluindo os 40 segundos de fotoativação, evidenciando o valor máximo apresentado. Como se mostra na relação abaixo:

ΔL = (Variação dimensional)

d = (Dimensão linear depois de polimerizado)

D = (Tamanho linear inicial do cimento resinoso)

$$\Delta L = D - d$$

Transformando esta alteração dimensional em volumétrica e percentual temos a seguinte relação:

ΔL = (Variação dimensional linear)

$\Delta L\%$ (Variação dimensional em porcentagem) = $\Delta L \times 100$

ΔV (Contração volumétrica em Percentual) = $\Delta L\% \times 3$

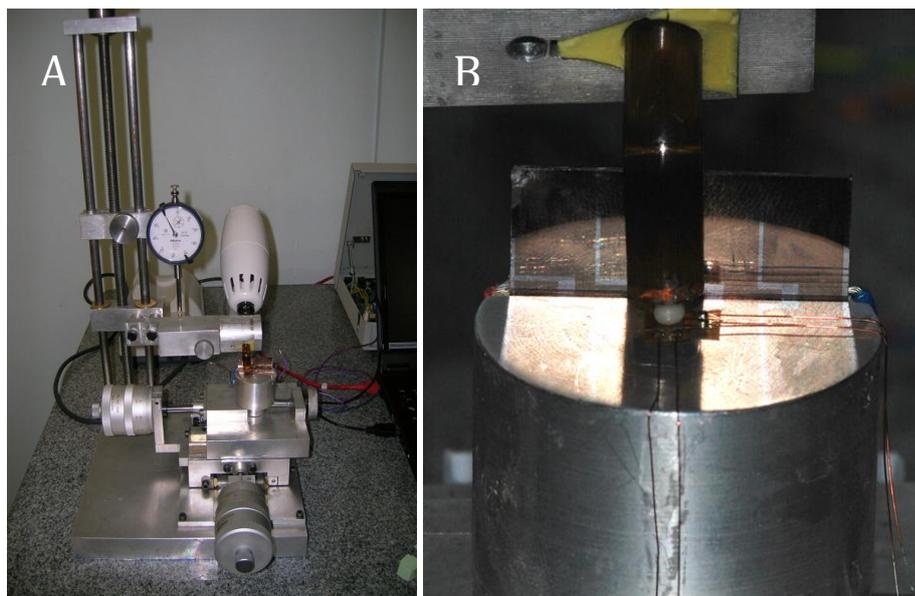


Figura 15: A: aparelho de mensuração de contração de polimerização; B: cimento sobre o extensômetro e posicionamento da fonte de luz para ativação do material.

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de volume da linha de cimentação e porcentagem total de porosidade na linha da cimentação apresentaram distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$) e equivalência de variância (teste Levene, $p < 0,05$). Os dados de contração pós-gel apresentaram distribuição normal (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$) e equivalência de variância (teste Levene, $p < 0,05$).

Os dados de volume da linha de cimentação e porcentagem total de porosidade na linha da cimentação foram analisados por meio de Análise de Variância Fatorial por 2 fatores em estudos: tipo de preparo (2 níveis: broca Largo e broca específica) e tipo de cimento resinoso (2 níveis: Allcem e RelyX™ U200) seguido pelo teste Tukey.

Os dados de contração pós-gel dos cimentos foram avaliados empregando teste t-Student. Todos os ensaios foram realizados com nível de significância de 5%, sendo as análises realizadas pelo *software* Sigma Plot versão 13.1 (Systat Software Inc., San Jose, EUA).

7 RESULTADOS

7.1 VOLUME DA LINHA DE CIMENTO (mm³)

O volume médio e desvio padrão (mm³) dos cimentos estão expressos na Figura 15. A análise de variância fatorial mostrou que o tipo de broca usada no preparo influenciou os valores do volume dos cimentos ($p < 0,001$), porém não houve significância para o fator tipo de cimento ($p = 0,165$) e para interação entre ambos fatores (tipo de broca para preparo e tipo de cimento; $p = 0,190$). O teste *Tukey* mostrou que o volume da linha de cimento foi significativamente maior ($16,3 \pm 0,9$ mm³) quando realizado preparo com broca Largo do que quando realizado com broca específica do pino ($4,2 \pm 0,9$ mm³) (Figura 16).

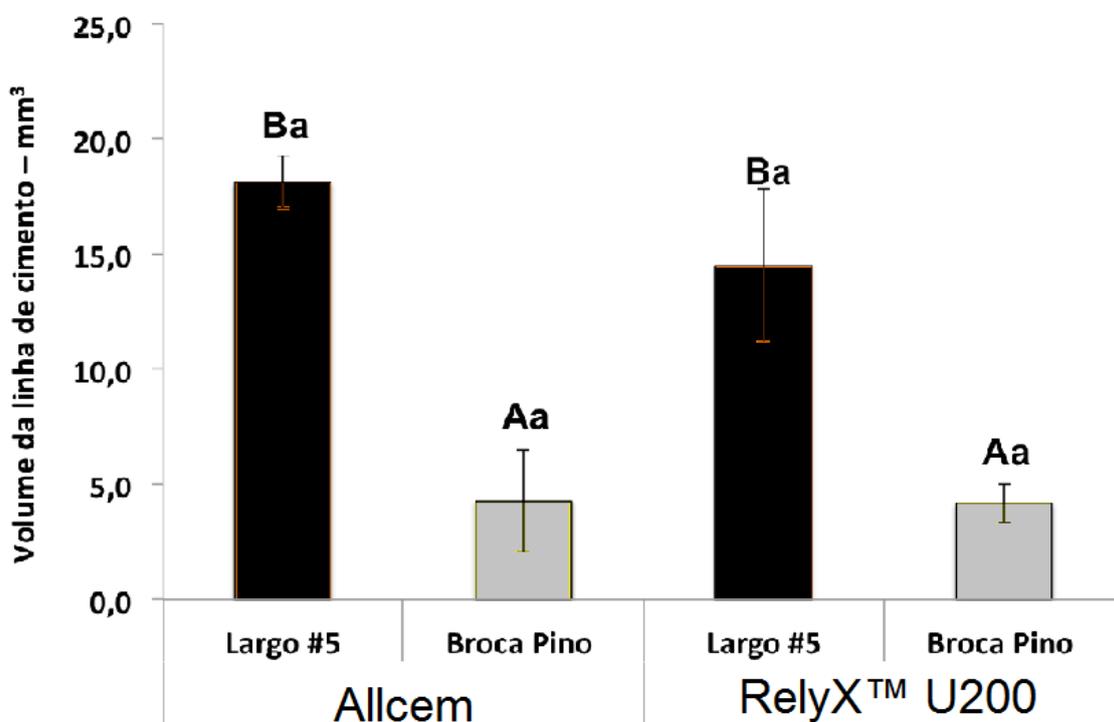


Figura 16: Valores médios e desvio padrão do volume de cimento resinoso após o preparo com diferentes tipos de broca e a cimentação com diferentes tipos de cimento resinoso obtidas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas comparam tipo de cimento e letras maiúsculas comparam broca de preparo do canal radicular.

7.2 PORCENTAGEM TOTAL DE POROSIDADES NA LINHA DA CIMENTAÇÃO (%)

O volume médio e desvio padrão da porcentagem total de porosidades na linha de cimentação estão expressos na Figura 16. A análise de variância fatorial mostrou que o fator tipo de broca usado no preparo ($p < 0,001$) e o fator tipo de cimento ($p = 0,026$) influenciaram os valores de porcentagem total de porosidades, porém não houve significância para interação aos dois fatores tipo de broca para preparo e tipo de cimento ($p = 0,486$). O teste *Tukey* mostrou que a porcentagem total de porosidades foi significativamente maior quando foi realizado preparo com broca Largo (39,10 \pm 1,18%) do que quando realizado com broca específica do pino (24,40 \pm 1,18%) (Figura 17). Mostrou ainda que maiores valores de porcentagem de porosidades total foram encontrados no cimento Allcem (34,08 \pm 1,18%) quando comparado com o cimento RelyX™ U200 (29,42 \pm 1,18%).

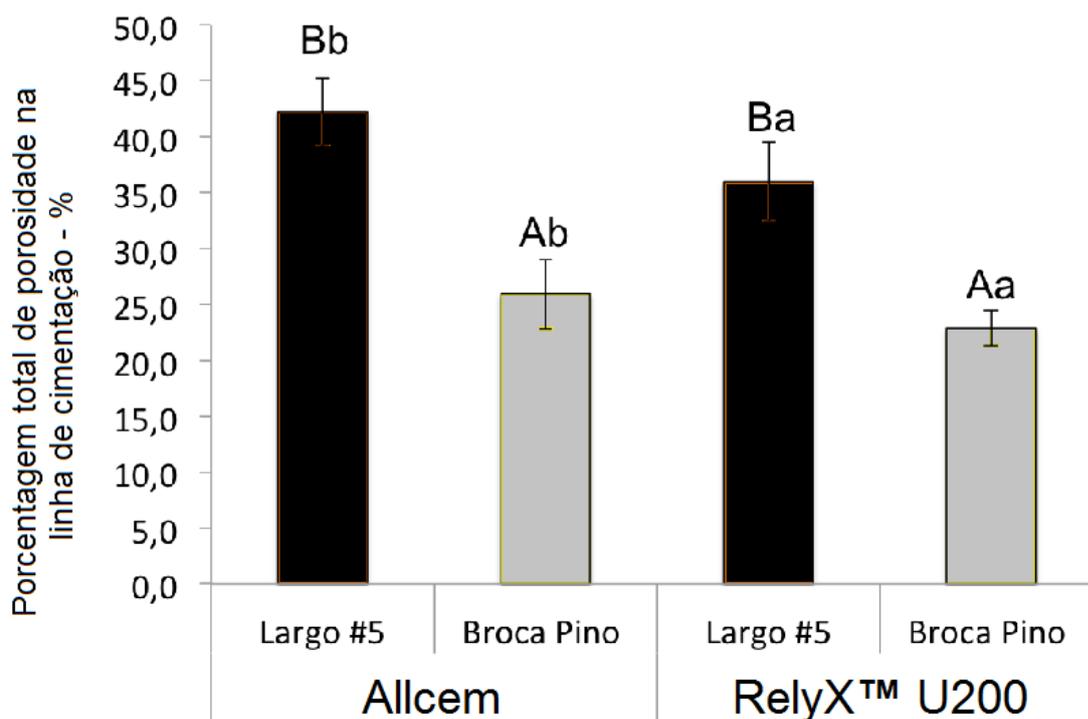


Figura 17: Valores médios e desvio padrão da porcentagem total de porosidades na linha de cimentação obtidas pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$). Letras minúsculas comparam tipo de cimento e letras maiúsculas comparam a broca de preparo do canal radicular.

7.3 CONTRAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO PÓS-GEL DOS CIMENTOS RESINOSOS (%)

A média e desvio padrão de contração pós-gel estão expressos na Figura 18. O teste *t*-Student mostrou valores de contração pós-gel estatisticamente superiores do cimento resinoso Allcem ($0,92 \pm 0,019\%$) quando comparado ao cimento RelyX™ U200 ($0,77 \pm 0,026\%$) ($p < 0,001$).

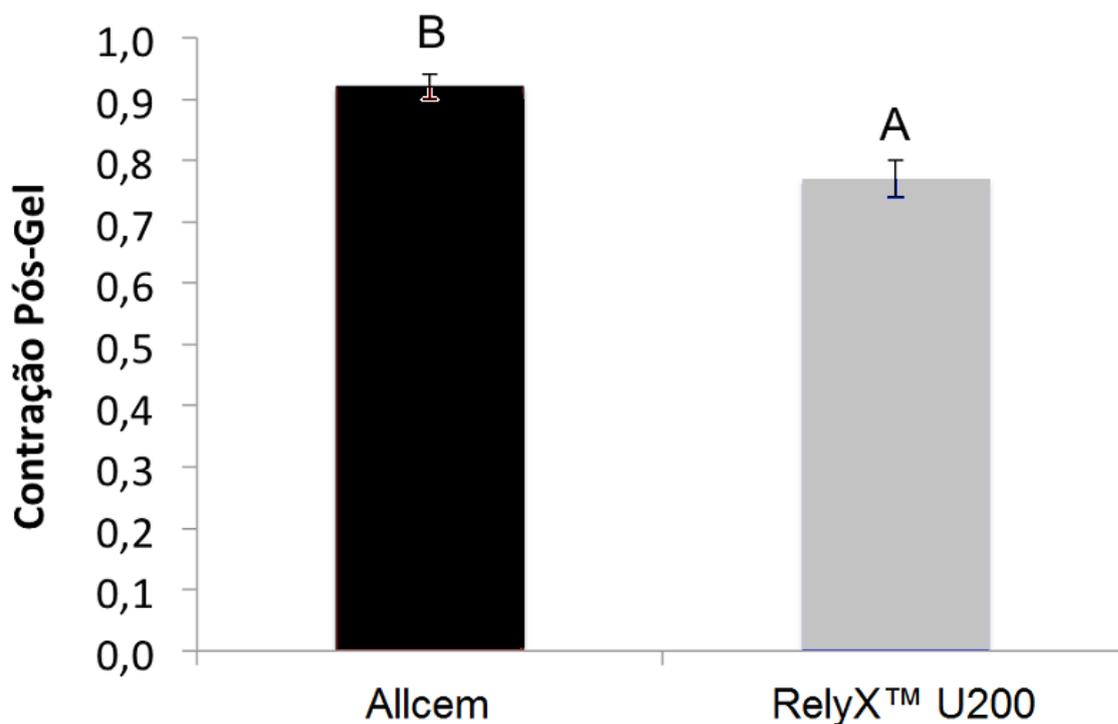


Figura 18: Valores médios e desvio padrão da contração pós-gel dos cimentos resinosos testados e as categorias estatísticas obtidas pelo teste *t*-Student ($p < 0,05$).

8 DISCUSSÃO

As hipóteses nulas deste trabalho foram rejeitadas.

O preparo do conduto radicular com a broca largo promoveu maior volume de linha de cimentação (16,30 mm³) em relação ao preparo realizado com a broca específica do fabricante (4,21 mm³). Dessa forma, rejeitou-se a primeira hipótese. O uso de brocas com diâmetros diferentes ao diâmetro do pino gera alteração na linha de cimentação e influencia negativamente o valor de resistência de união do cimento à dentina (D'ARCANGELO *et al.*, 2007; JAYASENTHIL *et al.*, 2016). Os procedimentos que causam maior porcentagem de perda de estrutura durante tratamento endodôntico e processo restaurador, são a cavidade de acesso à câmara pulpar e o preparo para o pino intrarradicular (IKRAM *et al.*, 2009). O aumento de volume de linha de cimentação pode ter ocorrido devido ao maior desgaste causado pela broca universal em relação à broca específica. Os fabricantes recomendam o uso de brocas para preparo do conduto radicular com calibre ligeiramente maior que o pino correspondente (PERDIGÃO *et al.*, 2007). Indica-se que tais brocas sejam ligeiramente maiores para proporcionar espaço suficiente para a espessura do cimento (PRADO *et al.*, 2016) e, além disso a broca com menor diâmetro gera necessidade de movimentos laterais.

Não há consenso na literatura em relação à espessura ideal de cimento, bem como sobre a influência de vazios (lacunas e bolhas) na resistência de união e na evolução clínica do tratamento (MANSO *et al.*, 2011; RENGO *et al.*, 2014). O ajuste preciso entre pino e preparo pode melhorar a homogeneidade da linha de cimentação. Entretanto, para se confirmar se existe essa relação direta, são necessários estudos mais aprofundados e com controles clínicos (GRANDINI *et al.*, 2005). Linhas de cimento muito espessas ou linhas extremamente finas podem diminuir significativamente a retenção intrarradicular dos pinos (SCHERRER *et al.*, 1994; D'ARCANGELO *et al.*, 2007). Para Egilmez *et al.* (2013), a diminuição da linha de cimentação reduz a resistência de união de pinos de fibra de vidro à dentina, devido à padronização da broca em formato e diâmetro e às grandes variações na morfologia do canal radicular. Por outro lado, outros autores argumentaram que o aumento de espessura de cimento resinoso na linha de cimentação gera aumento de tensões de contração, afetando negativamente a resistência de união do sistema

restaurador à dentina (SPAZZIN *et al.*, 2009; DA ROSA *et al.*, 2011; ANCHIETA *et al.*, 2012; LAZARI *et al.*, 2013).

Em 1994, Scherrer e colaboradores relataram que, se a espessura de cimento resinoso for igual ou superior a 300 μm (0,3 mm) haverá diminuição gradual da resistência à fratura das restaurações em cerâmica. Segundo D'Arcangelo *et al.* (2007), a linha de cimentação ideal está entre 0,1 e 0,3 mm.

Entretanto, existem dados que demonstram que o aumento da espessura da linha de cimentação não prejudica significativamente a resistência de união na linha de cimentação entre pino de fibra de vidro e dentina, sendo o tipo mais comum de falha o desprendimento do pino de fibra de vidro do cimento resinoso (PERDIGÃO *et al.*, 2007; PEREZ *et al.*, 2006). Apesar do preparo do conduto ser cuidadoso, alguns canais apresentam forma elíptica em seção transversal enquanto outros canais apresentam presença residual de guta-percha em áreas onde a broca não teve acesso (PERDIGÃO *et al.*, 2007; EGILMEZ *et al.*, 2013). Outro estudo encontrou maiores valores de resistência de união com o aumento da espessura da camada de cimento, em contradição aos dados da literatura. Os autores justificaram essa alteração da resistência de união devido à cimentação endodôntica com cimento à base de eugenol, reduzindo a adesão dentinária e inibindo a polimerização do cimento resinoso (HAGGE *et al.*, 2002).

Os estudos que avaliaram a espessura foram obtidos a partir de métodos bidimensionais e o presente estudo utilizou uma análise tridimensional para avaliar o volume da linha de cimentação. Uma grande vantagem do micro CT é que permite a análise de todo o espécime, sem perda de informação e sem negligenciar áreas. Entre as diferentes metodologias de análise a mais confiável é a volumétrica, tendo em vista que analisa a amostra inteira tridimensionalmente (RENGO *et al.*, 2014), sendo que a análise bidimensional, por MEV ou microscopia óptica, por exemplo, (MITCHELL *et al.*, 1995; GRANDINI *et al.*, 2005; AGUIAR *et al.*, 2012; LORENZONI *et al.*, 2013) pode ser considerada menos precisa (LORENZONI *et al.*, 2013; RENGÓ *et al.*, 2014). Portanto, medidas como volume de cimento e distribuição de bolhas devem ser realizadas, preferencialmente, por micro CT (LORENZONI *et al.*, 2013; RENGÓ *et al.*, 2014; UZUN *et al.*, 2016). Segundo Versluis *et al.* (2004), é preferível o uso de equipamentos e sistemas computadorizados para testar o comportamento dos materiais odontológicos.

Camadas mais espessas de cimento predisõem a formação de bolhas no seu interior (GRANDINI *et al.*, 2005). A formação de bolhas é menos provável em uma camada fina e uniforme de cimento (D'ARCANGELO *et al.*, 2007). A formação de bolhas é resultado, principalmente, do aprisionamento de ar durante o processo de mistura do material. Porém, em materiais fluidos como o cimento resinoso, é possível que haja formação indireta de bolhas a partir da união de microbolhas (NOMOTO & MCCABE, 2001; UZUN *et al.*, 2016). Para cimentação de pinos de fibra de vidro, o cimento deve ser inserido no conduto com auxílio da broca Lentulo ou por seringa Centrix para promover melhores resultados de resistência de união e melhor homogeneidade da camada de cimento (PERDIGÃO *et al.*, 2007; MICHIDA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2015; PRADO *et al.*, 2016). Segundo D'Arcangelo *et al.* (2007b) a técnica de inserção do cimento resinoso não é capaz de influenciar a resistência de união do tratamento. O cirurgião dentista deve levar em consideração o método de manipulação e inserção do cimento resinoso para tentar reduzir os possíveis defeitos na interface dentina/cimento/pino (SILVA *et al.*, 2015). Os fatores tipo de broca e tipo de cimento influenciaram a porcentagem total de porosidade na linha de cimentação, rejeitando a segunda hipótese do estudo.

As bolhas e espaços vazios podem afetar negativamente a concentração de tensão na interface cimento/dentina e reduzir a resistência de união (D'ARCANGELO *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2015). A presença de bolhas localizadas no interior do cimento na interface adesiva (LORENZONI *et al.*, 2013) pode diminuir a área de contato entre cimento e dentina (SILVA *et al.*, 2015). Além disso, as bolhas podem diminuir a resistência do cimento, aumentar as tensões na interface e criar locais de início e propagação de fissura (SILVA *et al.*, 2015). Em contrapartida, Alster *et al.* (1992) afirmaram que a incorporação de poros pela manipulação do cimento resinoso contribui para a redução de tensões de contração e pode ser considerada um fator positivo para a manutenção da integridade marginal. A incorporação de ar no cimento pode inibir a polimerização do cimento em torno das minúsculas bolhas (ALSTER *et al.*, 1992). Existem estudos (UZUN *et al.*, 2015; UZUN *et al.*, 2016) que afirmam que não há relação entre a resistência de união por *push-out* e a presença de bolhas. Adicionalmente, o ar contido nas bolhas pode agir de forma a compensar e dissipar o efeito prejudicial da tensão de polimerização gerada pelo alto fator C (PERDIGÃO *et al.*, 2007; PRADO *et al.*, 2016).

Na literatura existem trabalhos que avaliam a linha de cimentação e a porcentagem de porosidades de acordo com os terços radiculares (RENGO *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015; UZUN *et al.*, 2015; UZUN *et al.*, 2016). Para o presente estudo não foi contemplado esta análise como objetivo, podendo ser avaliado em um próximo estudo. A maior concentração de porosidades intrarradiculares é localizada no terço apical. Isso pode ser explicado por fatores como: menor volume de pino no terço apical, gerando maior volume de cimento e predispondo a formação de bolhas (RENGO *et al.*, 2014) e também pode ser atribuído à capacidade de transmissão de luz limitada no terço apical e redução de conversão dos monômeros do cimento resinoso (DALEPRANE *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015). A homogeneidade da camada de cimento é semelhante nos terços médios e cervicais quando se avalia a técnica de inserção (inserido com pino, com Lentulo, com explorador ou com seringa Centrix), porém, na região apical, os melhores resultados foram encontrados quando o cimento foi inserido com auxílio da seringa Centrix (SOUZA *et al.*, 2015).

A contração de polimerização ainda é considerada uma preocupação clínica (DAVIDSON & DE GEE, 1984; SAKAGUCHI *et al.*, 1997; BRAGA *et al.*, 2002; VERSLUIS *et al.*, 2004; KLEVERLAAN & FEILZER, 2005; BOARO *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2013). Durante os últimos anos, várias técnicas têm sido utilizadas para medir a contração de polimerização (SAKAGUCHI *et al.*, 1997; WATTS *et al.*, 2003; SOARES *et al.*, 2013), das quais o método de *strain-gauge* (extensometria) é considerado o mais sensível para medir a variação volumétrica dimensional (SAKAGUCHI *et al.*, 1991). A contração de polimerização pós-gel produz uma mudança volumétrica e distribui tensões de contração através da interface de união para a estrutura dentária (SAKAGUCHI *et al.*, 1991). Cimentos resinosos que apresentam maior valor de contração de polimerização, como encontrado no cimento resinoso Allcem (0,92%), geram maior tensão de contração no interior do conduto radicular (BRAGA *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2015). Houve diferença no grau de contração pós-gel entre os dois cimentos resinosos e a terceira hipótese nula do estudo foi rejeitada.

Na cimentação intrarradicular, o fator C existente é consideravelmente elevado (EKAMBARAM *et al.*, 2014). O fator C está diretamente associado aos níveis de tensão de contração (FEILZER *et al.*, 1987; BOILLAGUET *et al.*, 2003). A tensão de contração é uma condição física que depende da combinação de

propriedades dos materiais envolvidos, da geometria da cavidade e do tipo de adesivo utilizado (VERSLUIS *et al.*, 2004). Tensões de contração geradas em condição de confinamento pelas paredes dentárias são capazes de gerar falhas (fendas) na interface cimento/dentina (BRAGA *et al.*, 2002).

A concentração de tensão intrarradicular é maior na presença de bolhas, afetando diretamente a resistência adesiva do cimento à dentina (SILVA *et al.*, 2015). O cimento que apresentou maior valor de contração de polimerização, Allcem (0,92%), também apresentou maior porcentagem total de porosidades na linha de cimentação (34,08%), quando comparado com o cimento RelyX™ U200 (0,77% e 29,42%, respectivamente), sendo possível sugerir uma eventual relação entre contração de polimerização e porcentagem de porosidades. O cimento auto-adesivo parece ser uma boa alternativa para a cimentação de pinos de fibra de vidro devido aos baixos valores de tensão de polimerização e alta resistência de união em relação ao cimento resinoso convencional (BERGOLI *et al.*, 2012), estando de acordo com os resultados encontrados no presente estudo.

Quando os monômeros do compósito se unem por ligação covalente há redução no volume do material, provocando contração volumétrica. A magnitude da contração volumétrica é determinada pelo volume e composição da matriz orgânica e pelo grau de conversão do compósito (BRAGA *et al.*, 2005). Compostos resinosos que apresentam alto teor inorgânico e alto módulo de elasticidade possuem baixa contração volumétrica (BRAGA *et al.*, 2005). As características das partículas de carga influenciam as propriedades físico-mecânicas (como módulo de elasticidade, resistência à tração e à compressão, dureza, grau de conversão, contração de polimerização) de materiais resinosos devido à ligação de carga com a matriz orgânica, (CHUNG *et al.*, 1990; KIM *et al.*, 2002; POLYDOROU *et al.*, 2009). Weiner (2007) descreveu os cimentos resinosos como compósitos de baixa viscosidade que apresentam reduzido conteúdo de carga envolvido numa matriz orgânica monomérica com base em diferentes monômeros (BERGER *et al.*, 2009), como Bis-GMA, dimetacrilato e TEGDMA. Segundo o fabricante, o cimento resinoso Allcem apresenta maior conteúdo de matriz orgânica em relação ao cimento resinoso RelyX™ U200 e apresentou contração de polimerização pós-gel mais elevado.

Moléculas de alto peso molecular apresentam menor mobilidade no processo de conversão de monômeros para polímeros (ILIE E HICKEL, 2011; BOARO *et al.*, 2010). Em relação aos monômeros Bis-GMA e TEGDMA, quando o peso molecular

diminui, o processo de conversão de monômeros para polímeros aumenta, aumentando a contração de polimerização (PATEL *et al.*, 1987; PEUTZFELDT, 1997). No estado não polimerizado, Bis-GMA e TEGDMA apresentam peso molecular semelhante, porém em estado polimerizado, TEGDMA tem peso molecular superior ao Bis-GMA devido a mais ligações covalentes criadas. A partir disso, o grau de conversão e a contração de polimerização aumentam com o aumento do teor de TEGDMA (ASMUSSEN, 1982; MUNKSGAARD *et al.*, 1987; ASMUSSEN & PEUTZFELDT, 1998; DEWAELE *et al.*, 2006). De acordo com o fabricante, o cimento resinoso Allcem apresenta 66-67% de carga inorgânica em peso e a matriz orgânica é constituída por Bis-GMA e TEGDMA. O cimento resinoso RelyX™ U200 apresenta 72% de carga inorgânica em peso e a matriz orgânica é composta por TEGDMA. O cimento resinoso Allcem e RelyX™ U200 apresentam composições químicas diferentes, sendo esta mais uma causa da variação da contração de polimerização.

Alguns aspectos relacionados à cimentação de pinos intrarradiculares e desempenho clínico das restaurações ainda merecem atenção. Estudos deverão ser realizados para avaliar o volume intrarradicular antes e após o preparo do conduto radicular, assim como deverão ser relacionados os valores de volume do agente cimentante com os valores da espessura da linha de cimentação.

9 CONCLUSÃO

O volume da linha de cimentação foi maior quando o preparo foi realizado com a broca Largo e não houve diferença do volume da linha de cimentação para os diferentes cimentos.

A porcentagem total de porosidades foi maior quando o conduto foi preparado pela broca Largo e quando o pino foi cimentado com cimento resinoso Allcem.

O grau de contração de polimerização pós-gel foi superior para o cimento resinoso Allcem.

De forma geral, os melhores resultados foram encontrados quando o preparo intrarradicular foi realizado com broca específica do pino White Post DC número 2 e quando o mesmo foi cimentado com RelyX™ U200.

10 REFERÊNCIAS

Aguiar TR, Di Francescantonio M, Bedran-Russo AK, Giannini M. Inorganic composition and filler particles morphology of conventional and self-adhesive resin cements by SEM/EDX. *Microsc Res Tech*. 2012; 75(10):1348-52.

Amaral FL, Colucci V, Palma-Dibb RG, Corona SA. Assessment of in vitro methods used to promote adhesive interface degradation: a critical review. *J Esthet Restor Dent*. 2007;19(6):340-53.

Anusavice, K. J. Resinas para restauração. In: Anusavice A, Shen C, Rawls HR. *Phillips materiais dentários*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1998;(12):161-77.

Anchieta RB, Rocha EP, Almeida EO, Freitas AC Jr, Martin M Jr, Martini AP et al. Influence of customized composite resin fiberglass posts on the mechanics of restored treated teeth. *Int Endod J*. 2012;45(2):146-55.

Alfaro DP, Ruse ND, Carvalho RM, Wyatt CC. Assessment of the internal fit of lithium disilicate crowns using micro-CT. *J Prosthodont*. 2015;24(5):381-6.

Alster D, Feilzer AJ, De Gee AJ, Mol A, Davidson CL. The dependence of shrinkage stress reduction on porosity concentration in thin resin layers. *J Dent Res*. 1992;71(9):1619-22.

Akkayan B, Gülmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent*. 2002;87(4):431-7.

Asmussen E. Restorative resins: hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res*. 1982; 90(6):484-90.

Asheibi F, Qualtrough AJ, Mellor A, Withers PJ, Lowe T. Micro-CT evaluation of the effectiveness of the combined use of rotary and hand instrumentation in removal of Resilon. *Dent Mater J*. 2014;33(1):1-6.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dent Mater.* 1998;14(1):51-6.

Bachicha WS, DiFiore PM, Miller DA, Lautenschlager EP, Pashley DH. Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts. *J Endod.* 1998;24(11):703-8.

Balkenhol M, Wöstmann B, Rein C, Ferger P. Survival time of cast post and cores: a 10- year retrospective study. *J Dent.* 2007;35(1):50-8.

Berger SB, Palialol AR, Cavalli V, Giannini M. Characterization of water sorption, solubility and filler particles of light-cured composite resins. *Braz Dent J.* 2009;20(4):314-8.

Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J.* 2001;34(5):390-8.

Bergoli CD, Amaral M, Boaro LC, Braga RR, Valandro LF. Fiber post cementation strategies: effect of mechanical cycling on push-out bond strength and cement polymerization stress. *J Adhes Dent.* 2012;14(5):471-8.

Bicalho AA, de Souza SJB, de Rosatto CMP, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CJ. Effect of temperature and humidity on post-gel shrinkage, cuspal deformation, bond strength and shrinkage stress – Construction of a chamber to simulate the oral environment. *Dent Mater.* 2015;31(12):1523-32.

Bitter K, Kielbassa M. Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systems: A review. *Am J Dent.* 2007;20(6):353-60.

Braga RR, Ferracane JL, Condon JR. Polymerization contraction stress in dual-cure cements and its effect on interfacial integrity of bonded inlays. *J Dent.* 2002;30(7-8):333-40.

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

Braga RR, Boaro LCC, Kuroe T, Azevedo CLN, Singer JM. Influence of cavity dimensions and their derivatives (volume and 'C' factor) on shrinkage stress development and microleakage of composite restorations. *Dent Mater.* 2006;22(9):818-23.

Brito-Júnior M, Leoni GB, Pereira RD, Faria-e-Silva AL, Gomes EA, Silva-Sousa YT et al. Novel dentin push-out bond strength model that uses micro-computed tomography. *J Endod.* 2015;41(12):2058-63.

Bru E, Forner L, Llena C, Almenar A. Fibre post behaviour prediction factors. A review of the literature. *J Clin Exp Dent.* 2013;5(3):e150-3.

Boaro LC, Gonçalves F, Braga RR. Influence of the bonding substrate in dental composite polymerization stress testing. *Acta Biomater.* 2010;6(2):547-51.

Boaro LC, Fróes-Salgado NR, Gajewski VE, Bicalho AA, Valdivia AD, Soares CJ et al. Correlation between polymerization stress and interfacial integrity of composites restorations assessed by different in vitro tests. *Dent Mater.* 2014;30(9):984-92.

Bolhuis P, de Gee A, Feilzer A. Influence of fatigue loading on four post-and-core systems in maxillary premolars. *Quintessence Int.* 2004;35(8):657-67.

Borges MG, Faria-e-Silva AL, Santos-Filho PC, Silva FP, Martins LR, Menezes Mde S. Does the moment of fiber post cutting influence on the retention to root dentin? *Braz Dent J.* 2015;26(2):141-5.

Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater.* 2003;19(3):199-205.

Chung KH. The relationship between composition and properties of posterior resin composites. *J Dent Res.* 1990;69(3):852-6.

Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. Anomalous mandibular premolars: a mandibular first premolar with three root and a mandibular second premolar with a C-shaped canal system. *Int Endod J.* 2008;41(11):1005-14.

Coltak KM, Yanikoğlu ND, Bayindir F. A comparison of the fracture resistance of core materials using different types of posts. *Quintessence Int.* 2007;38(8):e511-6.

Da Rosa RA, Bergoli CD, Kaizer OB, Valandro LF. Influence of cement thickness and mechanical cycling on the push-out bond strength between posts and root dentin. *Gen Dent.* 2011;59(4):e156-61.

Daleprane B, Nemesio CBP, Oréfice RL, Bueno AC, Vaz RR, Moreira AN, Magalhães CS. The effect of light-curing access and diferente resin cements on apical bond strength of fiber posts. *Oper Dent.* 2014;39(2):E93-100.

D'Arcangelo C, D'Amario M, De Angelis F, Zazzeroni S, Vadini M, Caputi S. Effect of application technique of luting agent on the retention of three types of fiber-reinforced post systems. *J Endod.* 2007a;33(11):1378-82.

D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D'Amario M. The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *J Prosthet Dent.* 2007b;98(3):193-8.

Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res.* 1984; 63(2):146-8.

Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G. Volume contraction in photocured dental resins: The shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater.* 2006;(22):359-65.

Dietschi D, Ardu S, Rossier-Gerber A, Krejci I. Adaptation of adhesive post and cores to dentin after in vitro occlusal loading: evaluation of post material influence. *J Adhes Dent.* 2006;8(6):409-19.

Efeoglu N, Wood DJ, Efeoglu C. Thirty- Five percent carbamide peroxide application causes in vitro demineralization of enamel. *Dent Mater.* 2007;23(7):900-4.

Egilmez F, Ergun G, Cekic-Nagas I, Vallittu PK, Lassila LV. Influence of cement thickness on the bond strength of tooth-colored posts to root dentin after thermal cycling. *Acta Odontol Scand.* 2013;71(1):175-82.

Ekambaram M, Yiu CK, Matinlinna JP, Chang JW, Tay FR, King NM. Effect of chlorhexidine and ethanol-wet bonding with a hydrophobic adhesive to intraradicular dentine. *J Dent.* 2014;42(7):872-82.

Faria-e-Silva AL, Peixoto AC, Borges MG, Menezes Mde S, Moraes RR. Immediate and delayed photoactivation of self-adhesive resin cements and retention of glass-fiber posts. *Braz Oral Res.* 2014;28(1):1-6.

Fearne JM, Elliott JC, Wong FS, Davis GR, Boyde A, Jones SJ. Deciduous enamel defects in low-birth-weight children: correlated XRay microtomographic and backscattered electron imaging study of hypoplasia and hypomineralization. *Anat Embryol (Berl).* 1994;189(5):375-81.

Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res.* 1987;66(11):1636-9.

Feilzer AJ, Dauvillier BS. Effect of TEGDMA/BisGMA ratio on stress development and viscoelastic properties of experimental two-paste composites. *J Dent Res.* 2003;82:824–8.

Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res.* 1986;20(1):121-31.

Ferrari M, Vichi A, Fadda GM, Cagidiaco MC, Tay FR, Breschi L, Polimeni A, Goracci C. A randomized controlled trial of endodontically treated and restored premolars. *J Dent Res.* 2012;91(7 Suppl):72S-78S.

Fokkinga WA, Le Bell AM, Kreulen CM, Lassila LV, Vallittu PK, Creugers NH. Ex-vivo fracture resistance of direct resin composite complete crowns with and without posts on maxillary premolars. *Int Endod J.* 2005;38(4):230-7.

Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Adhesion to root canal dentine using one and two-step adhesives with dual-core composite core materials. *J Oral Rehabil.* 2005;32(2):97-104.

Gaston BA, West LA, Liewehr FR, Fernandes C, Pashley DH. Evaluation of regional bond strength of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod.* 2001;27(5):321-4.

Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Borracchini A, Ferrari M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. *J Adhes Dent.* 2005a;7(3):235-40.

Grandini S, Goracci C, Franklin RT, Grandini R, Ferrari M. Clinical evaluation of the use of fiber posts and direct resin restorations for endodontically treated teeth. *Int J Prosthodont.* 2005b;18(5):399-404.

Galhano G, de Melo RM, Valandro LF, Bottino MA. Comparison of resin push-out strength to root dentin of bovine- and human-teeth. *Indian J Dent Res.* 2009;20(3):332-6.

Hagge MS, Wong RDM, Lindemuth JS. Effect of dowel space preparation and composite cement thickness on retention of a prefabricated dowel. *J Prosthodont.* 2002;11:19-24.

Hatta M, Shinya A, Vallittu PK, Shinya A, Lassila LV. High volume individual fiber post versus low volume fiber post: the fracture load of the restored tooth. *J Dent.* 2011;39(1):65-71.

Heydecke G, Peters MC. The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2002;87(4):380-6.

Ikram OH, Patel S, Sauro S, Mannocci F. Micro-computed tomography of tooth tissue volume changes following endodontic procedures and post space preparation. *Int Endod J.* 2009;42(12):1071-6.

Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J.* 2011 ;56 Suppl 1:59-66.

Jayasenthil A, Solomon-Sathish E, Venkatalakshmi-Aparna P, Balagopal S. Fracture resistance of tooth restored with four glass fiber post systems of varying surface geometries-An in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2016;8(1):e44-8.

Jongsma LA, Kleverlaan CJ, Pallav P, Feilzer AJ. Influence of polymerization mode and C-factor on cohesive strength of dual-cured resin cements. *Dent Mater.* 2012;28(7):722-8.

Kelsey WP, Latta MA, Kelsey MR. A comparison of the retention of three endodontic dowel systems following different surface treatments. *J Prosthodont.* 2008;17(4):269-73.

Kim KH, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent.* 2002;87(6):642-9.

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

Kremeier K, Fasen L, Klaiber B, Hofmann N. Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. *Dent Mater.* 2008;24(5):660-6.

Lalh MS, Titley KC, Torneck CD, Friedman S. Scanning electron microscopic study of the interface of glass ionomer cement sealers and conditioned bovine dentin. *J Endod.* 1999;25(11):743-6.

Lazari PC, Oliveira RC, Anchieta RB, Almeida EO, Freitas Junior AC, Kina S et al. Stress distribution on dentin-cement-post interface varying root canal and glass fiber post diameters. A three-dimensional finite element analysis based on micro-CT data. *J Appl Oral Sci.* 2013;21(6):511-7.

Le Bell A, Tanner J, Lassila LVJ, Kangasniemi I, Vallittu PK. Bonding of composite resin luting cement to fiber-reinforced composite root canal posts. *J Adhes Dent.* 2004;6(4):319-25.

Lee HS, Berg JH, García-Godoy F, Jang KT. Long-term evaluation of the remineralization of interproximal caries-like lesions adjacent to glass-ionomer restorations: a micro-CT study. *Am J Dent.* 2008;21(2):129-32.

Liu Q, Meng X, Yoshida K, Luo X. Bond degradation behavior of self-adhesive cement and conventional resin cements bonded to silanized ceramic. *J Prosthet Dent.* 2011;105(3):177-84.

Lorenzoni FC, Bonfante EA, Bonfante G, Martins LM, Witek L, Silva NR. MicroCT analysis of a retrieved root restored with a bonded fiber-reinforced composite dowel: a pilot study. *J Prosthodont.* 2013;22(6):478-83.

Manning KE, Yu DC, Yu HC, Kwan EW. Factors to consider for predictable post and core build-ups of endodontically treated teeth. Part I: Basic theoretical concepts. *J Can Dent Assoc.* 1995;61(8):685-8, 690, 693-5.

Manso AP, Silva NRFA, Bonfante EA, Pegoraro TA, Dias RA, Carvalho RM. Cements and adhesives for all-ceramic restorations. *Dent Clin N Am.* 55 (2011) 311–32.

Marques de Melo R, Bottino MA, Galvão RK, Soboyejo WO. Bond strengths, degree of conversion of the cement and molecular structure of the adhesive-dentine joint in fibre post restorations. *J Dent.* 2012;40(4):286-94.

Matos IC, Sab TBB, Juliboni NC, Guerra RF, de Miranda MS. Utilização de dentes bovinos como possível substituto aos dentes humanos nos testes in vitro: revisão de literatura/Bovine teeth as possible substitute to human teeth in laboratory studies: current findings reviewed. *UFES Rev Odontol* 2008;10(2):58-63.

Menani LR, Ribeiro RF, Antunes RP. Tensile bond strength of cast commercially pure titanium and cast gold-alloy posts and cores cemented with two luting agents. *J Prosthet Dent.* 2008;99(2):141-7.

Mesquita GC, Veríssimo C, Raposo LH, Santos-Filho PC, Mota AS, Soares CJ. Can the cure time of endodontic sealers affect bond strength to root dentin? *Braz Dent J.* 2013;24(4):340-3.

Metzger Z, Zary R, Cohen R, Teperovich E, Paqué F. The quality of root canal preparation and root canal obturation in canals treated with rotary versus self-adjusting files: a three-dimensional micro-computed tomographic study. *J Endod.* 2010;36(9):1569-73.

Mezzomo E, Massa F, Suzuki RM. Fracture resistance of teeth restored with 2 different post-and-core designs fixed with 2 different luting cements: an in vitro study. Part II. *Quintessence Int.* 2006;37(6):477-84.

Michida SM, Souza RO, Bottino MA, Valandro LF. Cementation of fiber post: influence of the cement insertion techniques on the bond strength of the fiber post-root dentin and the quality of the cement layer. *Minerva Stomatol.* 2010;59(11-12):633-6.

Mitchell CA, Orr JF, Kennedy JG. Factors influencing the failure of dental glass ionomer luting cement due to contraction. *Biomaterials*. 1995;16(1):11-6.

Monticelli F, Goracci C, Ferrari M. Micromorphology of the fiber post-resin core unit: a scanning electron microscopy evaluation. *Dent Mater*. 2004;20(2):176-83.

Monticelli F, Goracci C, Grandini S, García-Godoy F, Ferrari M. Scanning electron microscopic evaluation of fiber post-resin core units built up with different resin composites. *Am J Dent*. 2005;18(1):61-5.

Munksgaard EC, Hansen EK, Kato H. Wall-to-wall polymerization contraction composite resins versus filler content. *Scand J Dent Res*. 1987;95(6):526-31.

Neelakantan P, Sharma S, Shemesh H, Wesselink PR. Influence of irrigation sequence on the adhesion of root canal sealers to dentin: a fourier transform infrared spectroscopy and push-out bond strength analysis. *J Endod*. 2015;41(7):1108-11.

Neves FD, Prado CJ, Prudente MS, Carneiro TA, Zancopé K, Davi LR et al. Micro-computed tomography evaluation of marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated by using chairside CAD/CAM systems or the heat-pressing technique. *J Prosthet Dent*. 2014;112(5):1134-40.

Nomoto R, McCabe JF. Effect of mixing methods on the compressive strength of glass ionomer cements. *J Dent*. 2001;29:205-10.

Nova V, Karygianni L, Altenburger MJ, Wolkewitz M, Kielbassa AM, Wrbas KT. Pull-out bond strength of a fibre-reinforced composite post system luted with self-adhesive resin cements. *J Dent*. 2013;41(11):1020-6.

Patel MP, Braden M, Davy KWM. Polymerization shrinkage of methacrylate esters. *Biomaterials*. 1987;8(1):53-6.

Perdigão J, Gomes G, Augusto V. The effect of dowel space on the bond strengths of fiber posts. *J Prosthodont*. 2007;16(3):154-64.

Pereira RD, Valdívía A, Bicalho AA, Franco SD, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CJ. Effect of photoactivation timing on the mechanical properties of resin cements and bond strength of fiberglass post to root dentin. *Oper Dent*. 2015;40(5):E206-21.

Perez BE, Barbosa SH, Melo RM, Zamboni SC, Ozcan M, Valandro LF, Bottino MA. Does the thickness of the resin cement affect the bond strength of a fiber post to the root dentin? *Int J Prosthodont*. 2006;19(6):606-9.

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

Plotino G, Grande NM, Pecci R, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. *J Am Dent Assoc*. 2006;137(11):1555-61.

Plotino G, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. Influence of surfasse remodelling using burs on the macro and micro surfasse morphology of anatomically formed fibre posts. *Int Endod J*. 2008;41(4):345-55.

Polydorou O, König A, Hellwig E, Kümmerer K. Long-term release of monomers from modern dental-composite materials. *Eur J Oral Sci*. 2009;117(1):68-75.

Prado NA, Ferreira Rde S, Maurício MH, Paciornik S, de Miranda MS. Influence of the cement film thickness on the push-out bond strength of glass fiber posts cemented in human root canals. *Int J Dent*. 2016;2016:9319534.

Rengo C, Spagnuolo G, Ametrano G, Juloski J, Rengo S, Ferrari M. Micro-computerized tomographic analysis of premolars restored with oval and circular posts. *Clin Oral Investig*. 2014;18(2):571-8.

Rocha EP, Anchieta RB, Freitas AC Jr, de Almeida EO, Cattaneo PM, Chang Ko C. Mechanical behavior of ceramic veneer in zirconia-based restorations: a 3-dimensional finite element analysis using microcomputed tomography data. *J Prosthet Dent.* 2011;105(1):14-20.

Rodrigues FP, Li J, Silikas N, Ballester RY, Watts DC. Sequential software processing of micro-XCT dental-images for 3D-FE analysis. *Dent Mater.* 2009;25(6):e47-55.

Rosentritt M, Sikora M, Behr M, Handel G. In vitro fracture resistance and marginal adaptation of metallic and tooth-coloured post systems. *J Oral Rehabil.* 2004;31(7):675-81.

Sakaguchi RL, Sasik CT, Bunczak MA, Douglas WH. Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *J Dent.* 1991;19(5):312-6.

Sakaguchi RL, Versluis A, Douglas WH. Analysis of strain gage method for measurement of post-gel shrinkage in resin composites. *Dent Mater.* 1997;13(4):233-9.

Santos V, Perdigão J, Gomes G, Silva AL. Sealing ability of three fiber dowel systems. *J Prosthodont.* 2009;18(7):566-76.

Scherrer SS, de Rijk WG, Belser UC, Meyer JM. Effect of cement film thickness on the fracture resistance of a machinable glass–ceramic. *Dent Mater.* 1994;10(3):172-7.

Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. Preparations for extensively damaged teeth. In: *Fundamentals of fixed prosthodontics.* Chicago: Quintessence. 1997:181-209.

Silva NR, Aguiar GC, Rodrigues MdeP, Bicalho AA, Soares PB, Veríssimo C, Soares CJ. Effect of resin cement porosity on retention of glass-fiber posts to root dentin: an experimental and finite element analysis. *Braz Dent J.* 2015;26(6):630-6.

Soares CJ, Bicalho AA, Tantbirojn D, Versluis A. Polymerization shrinkage stresses in a premolar restored with different composite resins and different incremental techniques. *J Adhes Dent.* 2013;15(4):341-50.

Sorensen JA, Engelman MJ. Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1990;64(4):419-24.

Souza AC, Gonçalves F de C, Anami LC, Melo RM, Bottino MA, Valandro LF. Influence of insertion techniques for resin cement and mechanical cycling on the bond strength between fiber posts and root dentin. *J Adhes Dent.* 2015;17(2):175-80.

Spazzin AO, Galafassi D, de Meira-Junior AD, Braz R, Garbi CA. Influence of post and resin cement on stress distribution of maxillary central incisors restored with direct resin composite. *Oper Dent.* 2009;34(2):223-9.

Suebnuarn S, Hataidechadusadee R, Suwannasri N, Suprasert N, Rhiemora P, Haddawy P. Access cavity preparation training using haptic virtual reality and microcomputed tomography tooth models. *Int Endod J.* 2011;44(11):983-9.

Swain MV, Xue J. State of the Art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci.* 2009;1(4):177-88.

Uzun IH, Keles A, Arslan H, Güler B, Keskin C, Gündüz K. Influence of oval and circular post placement using different resin cements on push-out bond strength and void volume analysed by micro-CT. *Int Endod J.* 2015;24:1-8.

Uzun IH, Malkoç MA, Keleş A, Öğreten AT. 3D micro-CT analysis of void formations and push-out bonding strength of resin cements used for fiber post cementation. *J Adv Prosthodont.* 2016;8(2):101-9.

Versiani MA, Pécora JD, Sousa-Neto MD. The anatomy of two rooted mandibular canines determined using micro-computed tomography. *Int Endod J*. 2011;44(7):682-7.

Versiani MA, Pécora JD, de Sousa-Neto MD. Root and root canal morphology of four-rooted maxillary second molars: a micro-computed tomography study. *J Endod*. 2012;38(7):977-82.

Versluis A, Tantbirojn D, Pintado MR, DeLong R, Douglas WH. Residual shrinkage stress distributions in molars after composite restoration. *Dent Mater*. 2004;20(6):554-64.

Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M. Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater*. 2006;22(1):45-56.

Yassen GH, Platt JA, Hara AT. Bovine teeth as substitute for human teeth in dental research: a review of literature. *J Oral Sci*. 2011;53(3):273-82.

You SY, Kim HC, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Lee W. Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: a comparative study with micro-computed tomography. *J Endod*. 2011;37(9):1296-300.

Zicari F, Van Meerbeek B, Scotti R, Naert I. Effect of ferrule and post placement on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. *J Dent*. 2013;41(3):207-15.

Zanatta RF, Barreto Bde C, Xavier TA, Versluis A, Soares CJ. Effect of punch and orifice base sizes in different push-out test setups: stress distribution analysis. *J Adhes Dent*. 2015;17(1):45-50.

Zhang X, Li JL, Hao L. Morphological and failure mode study of different fiber posts luted with different adhesive systems to root dentin. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2011;29(2):132-5.

Zeiger DN, Sun J, Schumacher GE, Lin-Gibson S. Evaluation of dental composite shrinkage and leakage in extracted teeth using X-ray microcomputed tomography. *Dent Mater.* 2009;25(10):1213-20.

Watts C, Marouf AS, Al-Hind AM. Photo-polymerization shrinkage-stress kinetics in resin-composites: methods development. *Dent Mater.* 2003;19(1):1-11.

Watzke R, Blunck U, Frankenberger R, Naumann M. Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dent Mater.* 2008;24(11):1512-7.

Weiner RS. Dental cements: a review and update. *Gen Dent.* 2007;55(4):357-64.

ANEXO I

Documento de declaração de doação dos dentes bovinos pelo Frigorífico Santa Vitória.

DECLARAÇÃO DE DOAÇÃO DE DENTES BOVINOS

Empresa:

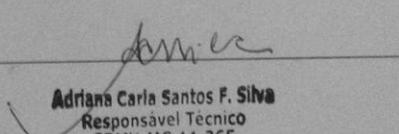
Frigorífico Santa Vitória

Instituição de Ensino:

Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais

O matadouro frigorífico Santa Vitória, localizado na Avenida Doutor Antônio Chagas Diniz, nº 555, Bairro Cidade Industrial, Contagem, MG - CEP 32210-160, CNPJ 01.650.036/0001-83 – registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento sob o número de SIF 147, sendo a responsável técnica deste SIF, a médica veterinária Adriana Carla Santos Ferreira Solva, CRMV-MG 11265, afirma a doação de elementos dentários de bovinos abatidos à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais para fins de pesquisa.

Contagem, 18 de agosto de 2015.


Adriana Carla Santos F. Silva
Responsável Técnico
CRMV-MG 11.265
CPF: 068.208.276-79

01 650 036 / 0001-83

FRIGORÍFICO SANTA VITÓRIA LTDA

AV. DR. ANTÔNIO CHAGAS DINIZ, 555 -
CIDADE INDUSTRIAL - CEP 32210-160

CONTAGEM - MG