**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO**

RODRIGO DANTAS PEREIRA

**Impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo e
comportamento biomecânico de pré-molares superiores
restaurados com diferentes materiais**

Versão Corrigida

**Ribeirão Preto
2018**

RODRIGO DANTAS PEREIRA

**Impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo e
comportamento biomecânico de pré-molares superiores
restaurados com diferentes materiais**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de
Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para a
obtenção do grau de Doutor em Ciências –
Programa: Odontologia Restauradora - Área de
concentração: Odontologia Restauradora (Opção:
Endodontia)

Orientador: Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto

**Ribeirão Preto
2018**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Assinatura do autor: _____

Data: ____/____/2018

Ficha Catalográfica

Pereira, Rodrigo Dantas

Impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo e comportamento biomecânico de pré-molares superiores restaurados com diferentes materiais

122p.:il., 1cm

Tese do doutorado, apresentada à Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FORP-USP), área de concentração: Odontologia Restauradora-Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto

1. Odontologia. 2. Endodontia. 3. Obturação do canal radicular. 4. Preparo do canal radicular. 5. Acesso endodôntico. 6. Resistência à fratura. 7. Restauração de dente tratado endododonticamente.

Versão corrigida da Tese. A versão original se encontra disponível na Unidade que aloja o Programa

PEREIRA, R. D. **Impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo e comportamento biomecânico de pré-molares superiores restaurados com diferentes materiais.** 122p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.

Aprovado em:___/___/_____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto (Orientador)

Instituição: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto/USP

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a).Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Este trabalho de pesquisa foi realizado no Laboratório de Pesquisa em Endodontia do Departamento de Odontologia Restauradora da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo

Dedicatória

Ao meu pai **Aparecido** (*in memoriam*), que apesar de pouco estudo foi um grande homem que guiou e orientou meus passos durante o período que estive presente. Homem digno que sempre estive ao meu lado e sempre me direcionou para os estudos. Essa vitória é nossa.

À minha mãe **Beatriz** e à irmã **Rosimeire**, que estiveram sempre ao meu lado me apoiando e estimulando nas situações mais adversas e, acima de tudo, compreendendo minha ausência em todo esse tempo. Minha mãe em especial, por ser o pilar e alicerce desta longa caminhada e em muitas situações, abrindo mão de seus sonhos para realização dos meus.

Agradecimentos

A **Deus**, grande arquiteto do universo, por guiar minha vida sempre.

Ao **Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto**, por toda preocupação e incentivo durante o doutorado, ensinamentos e conhecimentos transmitidos na formação profissional enquanto pesquisador e professor, e formação pessoal enquanto ser humano.

Ao **Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora**, pelas constantes trocas de conhecimento e experiências que contribuíram para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos professores do Departamento de Odontologia Restauradora, **Prof. Dr. Antonio Miranda da Cruz Filho, Prof. Dr. Ricardo Gariba Silva, Prof. Dr. Luiz Pascoal Vansan, Prof. Dr. Ricardo Novak Savioli e Profa. Dra. Regina Guenka Palma Dibb** pelo convívio agradável e ensinamentos.

Às Professoras **Dra. Érica Alves Gomes e Dra. Ana Paula Macedo** pelo auxílio e conhecimentos transmitidos.

À **Profa. Dra. Yara Teresinha Côrrea Silva Sousa**, pela confiança, carinho e disponibilidade de sempre em me receber no seu laboratório.

Aos amigos da pós-graduação **Alessandro Lamira, Amanda Buosi de Biagi, Caroline Borges, Cecilia Valente Martins, Daniel Filizola, Fabiane Carneiro Lopes, Fernanda Plategher, Fillipe Mendes, Igor Petean, Isabela Lima, Jacy Ribeiro de Carvalho Junior, Jardel Francisco Mazzi Chaves, Keila de Almeida Franceschini, Kleber Carvalho, Laise Rodrigues, Larissa Ernesto, Lívia Bueno Campi, Luis Eduardo Souza Flamini, Paulo André Yamin, Patricia Escobar, Rafael Assis, Rafael Camargo, Thais Oliveira, Vanessa Lessa e Vicente**, pela convivência agradável e pelas trocas de experiências e aprendizado a cada conversa.

Aos queridos amigos, **Bruno Monguilhott Crozeta, Isadora Soares, Graziela Leoni, Lucas Moura, Júlio Neto, Vinicius Almeida, Ítalo Vale e Matheus Falsareli** por compartilharem diversos momentos dessa caminhada e suporte nos mais diversos momentos!

Aos colegas, alunos e funcionários das Faculdades Unidas do Norte de Minas e Faculdade de Odontologia do Norte de Minas, obrigado pela compreensão da minha ausência e por sempre me motivarem a ser um profissional melhor a cada dia.

Aos funcionários, **Reginaldo Santana, Patrícia Marchi, Dra. Débora Fernandes Costa Guedes, Dra. Juliana Jendiroba Faraoni Romano, Carlos Feitosa dos Santos, Luiza Pitol, Rosângela Angelini, Maria Amália Viesti de Oliveira, Maria Isabel Miguel, Isabel Cristina Sola e Mary Possani Carmessano**, pelo cuidado, presteza e carinho com que me trataram. Muito obrigado!

Aos amigos e colegas do **Grupo de professores de Endodontia de Montes Claros (GEMOC)**, em especial ao professor Dr. **Manoel Brito Júnior** pelos conhecimentos e experiências compartilhadas.

À **CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**, pelo apoio financeiro.

*R*esumo

PEREIRA, R. D. Impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo e comportamento biomecânico de pré-molares superiores restaurados com diferentes materiais. 122p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.

A proposta deste estudo foi avaliar o impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo de canais radiculares com diferentes sistemas de instrumentação e no comportamento biomecânico de pré-molares superiores restaurados com diferentes materiais restauradores. Noventa pré-molares superiores com bifurcação radicular no terço cervical ou médio foram selecionados e escaneados em microtomógrafo para determinação de parâmetros bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) dos canais radiculares e dados de comprimento e volume de coroa e raiz. A partir desses dados, os espécimes foram distribuídos de acordo com a cavidade endodôntica de acesso: controle (hígido) (n=10), cavidade endodôntica convencional (CC) (n=40) e cavidade endodôntica conservativa (CEC) (n=40), e quanto ao sistema de instrumentação (n=10): Protaper Universal (PTU), Reciproc (RP), Reciproc Blue (RB) e Hiflex EDM (HEDM). As CC e CEC foram realizadas usando de brocas 1014 HL e Endo Z e inserto ultrassônico E7D e os espécimes foram escaneados para quantificar o tecido dental removido. Os dentes foram instrumentados com os sistemas PTU, RP, RB e HEDM seguindo as orientações dos fabricantes. Após o preparo biomecânico foi realizado novo escaneamento para avaliação das alterações dos parâmetros 2D e 3D dos canais radiculares e nova aleatorização quanto ao material restaurador (n=10): controle (material restaurador provisório), resina composta convencional, resina composta *bulk fill* regular e resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional. Os espécimes foram obturados com cimento à base de resina epóxica e cone único e selados com cimento provisório. Após sete dias os dentes foram restaurados de acordo com seus respectivos grupos utilizando resina composta convencional por meio da técnica incremental, resina composta *bulk fill* regular em incremento único e incremento único de resina composta *bulk fill* fluida com camada de resina composta convencional. Novo escaneamento foi realizado para analisar o material restaurador e presença de espaços vazios, seguido de inclusão para simulação do ligamento periodontal e ensaio de resistência à fratura e determinação do padrão de fratura. Foram gerados modelos tridimensionais das condições de acesso endodôntico e material restaurador para análise pelo método de elementos finitos. Os dados de preparo e comportamento biomecânico foram submetidos ao teste de T pareado, ANOVA e teste Tukey e qui-quadrado ($\alpha=0,05$). As cavidades endodônticas de acesso e sistemas de instrumentação apresentaram valores estatisticamente semelhantes para dados 2D e 3D, no entanto, observou-se que a CC propiciou maior centralização do canal radicular quando comparada a CEC. Os sistemas RB e HEDM apresentaram maior centralização quando comparados ao sistema PTU. O sistema Protaper apresentou maior percentual de paredes não tocadas em CEC. Menor percentual de material restaurador foi observado em CEC (78,7%) comparado a CC (96,3%), sendo observado em CEC maior percentual de material obturador e espaços vazios. Os valores de resistência à fratura e padrão de falha foram estatisticamente semelhantes para o grupo controle e grupos experimentais. Os grupos avaliados apresentaram comportamento similar na análise

de elementos finitos, com maior concentração de tensões na cúspide palatina comparada à cúspide vestibular e maiores tensões na região de sulco principal e cristas marginais. Pode-se concluir que a CEC impactou negativamente na centralização do preparo biomecânico, sendo que PTU promoveu maior desvio e percentual de paredes não tocadas. A cavidade endodôntica de acesso não alterou o comportamento biomecânico de pré-molares superiores, no entanto, CEC apresentaram material obturador remanescente após tratamento endodôntico e maior percentual de espaços vazios no material obturador.

***A**bstract*

PEREIRA, R. D. Impact of the conservative endodontic cavity on the biomechanical preparation and behavior of maxillary premolars restored with different materials. 122p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.

The purpose of this study was to evaluate the impact of the conservative endodontic cavity in the biomechanical preparation with different systems and in the biomechanical behavior of maxillary premolars restored with different restorative materials. Ninety maxillary premolars with root bifurcation in the cervical or middle third were selected and scanned in microcomputed tomography for the determination of two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) parameters of root canals and length and volume data of the root and crown. From these data, the specimens were distributed according to the endodontic access cavity: control (higid) (n=10), conventional endodontic cavity (CC) (n=40) and conservative endodontic cavity (CEC) (n=40); and according the biomechanical preparation system (n=10): Protaper Universal (PTU), Reciproc (RP), Reciproc Blue (RB) and Hiflex EDM (HEDM). CC and CEC were performed using 1014 HL and Endo Z drills and E7D ultrasonic insert, followed by a new micro tomographic examination to quantify the removed dental tissue. The teeth were prepared with the PTU, RP, RB and HEDM systems following the manufacturers' guidelines. After the biomechanical preparation, a new scanning was performed to evaluate the 2D and 3D root canal parameters changes and a new randomization was performed for the restorative material (n=10): control (temporary restorative material), conventional composite resin, bulk fill regular composite resin and resin composite bulk fill flow associated with conventional composite resin. The specimens were filled with epoxy resin-based sealer and single cone, and sealed with temporary restorative cement. After seven days the teeth were restored according to their respective groups with conventional composite resin using the incremental technique, composite resin bulk fill regular using a single increment and single increment of composite resin bulk fill flow with conventional composite resin layer. New scanning was performed to analyze the restorative material and presence of voids, followed by the inclusion for periodontal ligament simulation and fracture strength test and determination of fracture pattern. Three-dimensional models of endodontic access conditions and restorative material were generated for finite element analysis. The biomechanical preparation and biomechanical behavior data were submitted to paired T test, ANOVA and Tukey test and chi-square test ($\alpha=0.05$). The endodontic access cavities and biomechanical preparation systems presented statistically similar values for 2D and 3D data, however, it was observed that CC showed a greater centralization of the root canal compared to CEC. The RB and HEDM systems presented greater centralization compared to the PTU system. The Protaper system presented a higher percentage of untouched walls in CEC. A lower percentage of restorative material was observed in CEC (78.7%) compared to CC (96.3%), showing the presence of filling material and greater percentage of empty spaces in CEC. The values of fracture strength and failure pattern were statistically similar for the control group and experimental groups. The evaluated groups presented similar behavior in finite element analysis, with a higher stress concentration in the palatal cusp compared to the vestibular cusp and higher stress in the main sulcus region and marginal ridges. It can be concluded that the CEC had a

negative impact on the centralization of the biomechanical preparation, and that PTU promoted greater deviation and percentage of untouched walls. The endodontic access cavity did not alter the biomechanical behavior of maxillary premolars, however, CEC had remaining filling material after endodontic treatment and greater percentage of voids.

Sumário

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	29
PROPOSIÇÃO	39
MATERIAIS E MÉTODOS	43
RESULTADOS.....	67
DISCUSSÃO	91
CONCLUSÃO	107
REFERÊNCIAS.....	111

***I**ntrodução*

A cavidade endodôntica de acesso deve proporcionar caminho livre e direto ao sistema de canais radiculares (SCR) até ao ápice ou à posição da primeira curvatura, o que permite adequada irrigação, modelagem, limpeza e obturação (INGLE, 1965), além de reduzir o risco de fratura de instrumentos (MANNAN; SMALLWOOD ; GULABIVALA, 2001). Cavidades de acesso inadequadas podem resultar em complicações iatrogênicas e persistência de infecção intracanal, levando ao insucesso do tratamento endodôntico (INGLE, 1965; PATEL ; RHODES, 2007).

Os princípios da cavidade endodôntica convencional são baseados nos conceitos da Odontologia restauradora de BLACK (1936) de “extensão para prevenção” com o intuito de facilitar as etapas do preparo biomecânico e obturação e prevenir complicações operatórias (INGLE, 1965). Entretanto, estudos têm questionado se a remoção de estrutura dental sadia das paredes da câmara pulpar para melhor acesso aos orifícios de entrada dos canais pode levar à redução da resistência à fratura do dente durante cargas oclusais funcionais (KISHEN, 2006; TANG; WU ; SMALES, 2010).

Com o intuito de preservar estrutura dental sadia durante a realização da cavidade endodôntica de acesso, CLARK ; KHADEMI (2010a) propuseram a realização de cavidades endodônticas conservativas, as quais desconsideram os requisitos tradicionais de remoção completa do teto da câmara pulpar e acesso em linha reta ao canal radicular no intuito de preservar o máximo de estrutura, particularmente a dentina peri-cervical. É importante destacar que essas cavidades devem ser executadas com auxílio de microscopia operatória que permite melhor visualização devido à ampliação e iluminação do campo operatório (CARR ; MURGEL, 2010; KHALIGHINEJAD et al., 2017).

A literatura evidencia que a cavidade endodôntica de acesso conservativa pode impactar no preparo biomecânico (KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; NEELAKANTAN et al., 2017; ROVER et al., 2017; ALOVISI et al., 2018) e na resistência à fratura do dente tratado endodonticamente (KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; CHLUP et al., 2017; PLOTINO et al., 2017; ROVER et al., 2017; OZYUREK et al., 2018; SILVA et al., 2018).

Pesquisas têm demonstrado que, em relação ao preparo biomecânico, as cavidades endodônticas conservativas proporcionam maior quantidade de paredes não tocadas na porção apical de raízes distais de molares inferiores (KRISHAN et al., 2014) e maior transporte apical em molares inferiores (ALOVISI et al., 2018). No entanto, outros estudos têm demonstrado resultados similares aos observados com cavidades endodônticas tradicionais em relação ao percentual de paredes não tocadas (MOORE et al., 2016; ROVER et al., 2017), remanescente de tecido pulpar no canal radicular e região de istmos (NEELAKANTAN et al., 2017), alteração de área de superfície e volume (ALOVISI et al., 2018), bem como centralização e transporte do canal radicular (ROVER et al., 2017).

Na busca por maior eficácia do preparo biomecânico, tem-se desenvolvido novos instrumentos endodônticos rotatórios e reciprocantes por meio de tratamentos térmicos que conferem ao instrumento maior flexibilidade e maleabilidade (SHEN et al., 2013; SHEN et al., 2013; ALAZEMI; BRYANT ; DUMMER, 2015; MARCELIANO-ALVES et al., 2015; PLOTINO; GRANDE ; PORCIANI, 2015; PIRANI et al., 2016; GOO et al., 2017; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH ; SCHAFER, 2018).

Nesse contexto foi lançado recentemente o sistema de instrumentação Reciproc Blue (VDW GmbH, Munique, Alemanha), composto por três instrumentos (25.08, 40.06 e 50.05) com secção transversal em “S”, conicidades variadas e

dinâmica de movimento recíprocante com rotação no sentido anti-horário de 150° (direção de corte) seguido de rotação no sentido horário de 30° (direção de liberação do instrumento) que favorece o avanço do instrumento em direção apical (GUNDOGAR ; OZYUREK, 2017). A inovação do sistema Reciproc Blue consiste na alteração da estrutura molecular da liga de NiTi através de tratamento térmico durante o processo de fabricação, que promove deposição de uma camada de óxido de titânio na superfície do instrumento, o que lhe confere uma coloração azul (DE-DEUS et al., 2017; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH ; SCHAFER, 2018). Esse instrumento possui elevada flexibilidade (DE-DEUS et al., 2017), resistência a fadiga cíclica (DE-DEUS et al., 2017; GUNDOGAR ; OZYUREK, 2017; KESKIN et al., 2017; TOPCUOGLU ; TOPCUOGLU, 2017), resistência torcional (ALCALDE et al., 2017) e ductibilidade com redução da dureza superficial (DE-DEUS et al., 2017) e memória de forma (TOPCUOGLU ; TOPCUOGLU, 2017).

Já o instrumento Reciproc, antecessor do Reciproc Blue, apresenta cinemática e desenho similar à sua versão com memória controlada. Estes instrumentos são produzidos com liga de NiTi M-Wire que associada ao movimento recíprocante aumenta a resistência a fadiga cíclica do instrumento (PEDULLA et al., 2013; KIEFNER; BAN ; DE-DEUS, 2014; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH ; SCHAFER, 2018), reduzindo o índice de fratura (PLOTINO; GRANDE ; PORCIANI, 2015), associado a menor tempo para o preparo biomecânico com manutenção da anatomia do canal radicular (BURKLEIN et al., 2012; BURKLEIN; BENTEN ; SCHAFER, 2013; VERSIANI et al., 2013; GUIMARAES et al., 2017; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH ; SCHAFER, 2018).

Os instrumentos rotatórios HyFlex EDM (Coltene/ Whaledent, Altstätten, Suíça) são fabricados um processo de usinagem por descarga elétrica (Electric

Discharge Machining - EDM) a partir de fio de liga de NiTi de memória controlada. Diferente dos processos de usinagem ou torção, a usinagem por descarga elétrica permite a produção do instrumento sem contato direto com a liga, através de pulsos de descarga elétrica que melhoram suas propriedades mecânicas (PIRANI et al., 2016). O instrumento HyFlex EDM 25. ∞ possui d0 de 25 e conicidade constante de 0.08 nos 4 mm apicais com redução progressiva até conicidade 0.04 na região cervical e caracteriza-se por secção transversal quadrangular na porção apical, trapezoidal na porção média e triangular na porção cervical. Além do instrumento 25. ∞ , o sistema Hyflex EDM possui um instrumento de preparo cervical 25 conicidade 0.12 e um instrumento de *glide path* 10 conicidade 0.05 (PEDULLA et al., 2016; PIRANI et al., 2016). O instrumento Hyflex EDM possui maior resistência à fadiga cíclica quando comparado a instrumentos de NiTi convencionais (GUNDOGAR ; OZYUREK, 2017) e instrumentos rotatórios de memória controlada (PIRANI et al., 2016; GUNDOGAR ; OZYUREK, 2017), possivelmente devido ao tipo de tratamento da liga de NiTi e processo de fabricação (GUNDOGAR ; OZYUREK, 2017).

Dentre os instrumentos de NiTi convencionais, que não apresentam tratamento térmico, destaca-se o sistema ProTaper (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) que apresenta a proposta de conicidades múltiplas na parte ativa do instrumento. Esse sistema é composto por três instrumentos de modelagem do canal radicular (SX, S1 e S2) e outros três instrumentos para o acabamento do preparo (F1, F2 e F3) (WEST, 2006; UNAL et al., 2009). Devido a necessidade de maior ampliação apical, dificuldade de transição entre instrumentos F1, F2 e F3 e a alta rigidez dos instrumentos de acabamento, foi lançado em 2006 o sistema ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça), com a introdução de dois instrumentos de acabamento (F4 e F5) (WEST, 2006), alteração dos desenhos dos instrumentos S2,

F1, F2 e F3, com o objetivo de facilitar a transição entre os instrumentos S1, S2 e F1 e aumentar a flexibilidade dos instrumentos de acabamento (WEST, 2006; UNAL et al., 2009).

Quanto ao impacto das cavidades endodônticas de acesso conservativas na resistência à fratura do elemento dental, a literatura relata resultados controversos. Enquanto algumas pesquisas observaram não haver diferença na resistência à fratura quando da realização de cavidades endodônticas tradicionais e conservativas para dentes anteriores (KRISHAN et al., 2014) e posteriores (MOORE et al., 2016; CHLUP et al., 2017; ROVER et al., 2017; OZYUREK et al., 2018), estudos têm demonstrado que a cavidade endodôntica conservativa confere maior resistência à fratura que a cavidade endodôntica convencional em dentes posteriores (KRISHAN et al., 2014; PLOTINO et al., 2017).

A restauração direta de dentes tratados endodonticamente tem sido realizada com resinas compostas, uma vez que este material atua promovendo o reforço interno da estrutura dental resultando em aumento da resistência a fratura dental devido à redução de deflexão de cúspides (EAKLE et al., 1986; OLIVEIRA et al., 1987; SANTOS; BEZERRA, 2005; PRADEEP et al., 2013; PEREIRA et al., 2016), fazendo que o comportamento biomecânico do dente restaurado seja semelhante ao dente hígido (REEL; MITCHELL, 1989; WATTS et al., 1995; SOARES et al., 2008a). No entanto, as resinas compostas convencionais apresentam contração de polimerização (TAHA; PALAMARA ; MESSER, 2009), que gera maior acúmulo de tensões na interface adesiva e estrutura dental (ROSATTO et al., 2015; FERRACANE ; HILTON, 2016; PEREIRA et al., 2016), *gaps* na interface dente/restauração, microtrincas na estrutura dentária, deformação de cúspide e cárie secundária (ALOMARI; REINHARDT ; BOYER, 2001; FERRACANE ; MITCHEM, 2003; BICALHO et al.,

2014a; ROSATTO et al., 2015; PEREIRA et al., 2016). No intuito de manter adequada profundidade de polimerização e reduzir as tensões de contração de polimerização é fundamental a utilização desse material com espessura de 2 mm pela técnica incremental para que o material alcance as melhores propriedades físicas e sucesso clínico (BICALHO et al., 2014b; DO et al., 2014). No entanto, a utilização de resinas compostas convencionais pela técnica incremental torna o procedimento restaurador demorado e com risco de contaminação entre as camadas e possibilidade de inclusão de vazios na restauração (FLURY et al., 2012; ROSATTO et al., 2015).

Buscando contornar as limitações das resinas compostas convencionais, foram desenvolvidas as resinas compostas *bulk fill*, que podem ser utilizadas em incrementos de 4 a 5 mm com adequada polimerização em restaurações diretas (FLURY et al., 2012; DO et al., 2014; LI et al., 2015; ROSATTO et al., 2015). As resinas *bulk fill*, assim como as resinas convencionais, apresentam-se como resina de baixa viscosidade e alta viscosidade (resina *flow*) (KIM et al., 2015). Além de simplificação do procedimento e menor tempo clínico, estes materiais apresentam na sua composição maior quantidade de partículas de carga o que aumenta a resistência à abrasão, microdureza e reduz a contração de polimerização (ROSATTO et al., 2015).

A análise do preparo e comportamento biomecânico do dente tratado endodonticamente tem sido realizada por meio de diferentes métodos. Quanto ao preparo biomecânico, destaca-se a microtomografia computadorizada (micro-CT) que permite análise não-invasiva e não-destrutiva da amostra com sobreposição de imagens antes, durante e após a terapia endodôntica (VERSIANI; PÉCORA ; SOUSA-NETO, 2011; VERSIANI et al., 2013; KRISHAN et al., 2014; CROZETA et al., 2016), permitindo a análise bidimensional e tridimensional dos efeitos do preparo biomecânico na anatomia do SCR (PETERS; BOESSLER ; PAQUE, 2010; YIN et al.,

2010; PETERS ; PAQUE, 2011; VERSIANI et al., 2013; KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; ROVER et al., 2017).

O ensaio de resistência à fratura associado à determinação do padrão de falha possibilita o entendimento da ocorrência e prognóstico de fraturas em dentes tratados endodonticamente com simulação de cargas oclusais (REEH et al., 1989; HANNIG et al., 2005; SOARES et al., 2008a; MOHAMMADI et al., 2009; BRITO-JÚNIOR et al., 2014; PEREIRA et al., 2016). Entretanto, este teste apresenta limitações com relação à obtenção de informações do comportamento biomecânico do complexo dente/restauração, sendo, dessa forma, apropriado que se empregue metodologias não-destrutivas para obtenção de resultados complementares previamente à fratura (AUSIELLO et al., 1997; SOARES et al., 2008a; SOARES et al., 2008a; PEREIRA et al., 2016). Dessa maneira, a análise pelo método de elementos finitos permite visualizar e quantificar as tensões e deformações geradas na estrutura quando cargas de baixa intensidade são aplicadas, prevendo os possíveis locais de início da falha (SOARES et al., 2008; BRITO-JÚNIOR et al., 2014; PEREIRA et al., 2016), além de proporcionar a validação interna do estudo (PEREIRA et al., 2016).

Considerando que os estudos que avaliaram a influência da cavidade endodôntica conservativa no preparo biomecânico utilizaram isoladamente instrumentos rotatórios com memória controlada (MOORE et al., 2016; NEELAKANTAN et al., 2017), reciprocante com liga *M-wire* (KRISHAN et al., 2014; ROVER et al., 2017) ou reciprocante com liga de memória controlada (ALOVISI et al., 2018), bem como o desenvolvimento de novos materiais restauradores, torna-se importante avaliar o efeito da cavidade endodôntica de acesso no preparo biomecânico utilizando instrumentos endodônticos com diferentes cinemáticas e tipos

de liga em NiTi e o comportamento biomecânico dos dentes tratados endodonticamente e restaurados com diferentes materiais restauradores.

***P**roposição*

A proposta deste estudo foi avaliar o impacto da cavidade endodôntica conservativa, em comparação à cavidade endodôntica convencional, no preparo e no comportamento biomecânico de pré-molares superiores birradiculares utilizando diferentes metodologias. Assim foram avaliados:

- Os parâmetros bidimensionais (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior e diâmetro menor), tridimensionais (área de superfície, volume e SMI), centralização do canal radicular e paredes não tocadas após o preparo biomecânico com sistemas ProTaper Universal, Reciproc, Reciproc Blue e Hyflex EDM, por meio de microtomografia computadorizada.
- O percentual de espaços vazios após restaurações coronárias com resina composta convencional, resina composta *bulk fill* regular e associação de resinas composta *bulk fill* fluida e resina composta convencional, por meio de microtomografia computadorizada.
- O comportamento biomecânico dos dentes após restauração com resina composta convencional, resina composta *bulk fill* regular e associação de resina composta *bulk fill* fluida e resina composta convencional, por meio do método de elementos finitos, de teste de resistência à fratura e padrão de falha.

Materiais e Métodos

Cálculo amostral

O software G*Power versão 3.1.9.2 (Düsseldorf, Alemanha) foi utilizado na determinação do cálculo amostral por meio de testes F e teste estatístico Anova para efeitos fixos, especiais, principais e interações. Como parâmetros fixos foram utilizados um erro tipo $\alpha=0,05$, poder estatístico $\beta=0,8$, numerador $df=3$, número de grupos=5. A partir de estudos publicados sobre o tema, o tamanho de efeito foi determinado em 0,40 e 0,49 para porcentagem de alteração de volume e área de superfície (GAGLIARDI *et al.*, 2015), 0,50 para porcentagem de paredes do canal radicular não tocadas (KRISHAN *et al.*, 2014; MOORE *et al.*, 2016; ROVER *et al.*, 2017), 0,40 para espaços vazios na restauração coronária (CHLUP *et al.*, 2017) e 0,60 para resistência a fratura (KRISHAN *et al.*, 2014; MOORE *et al.*, 2016; PLOTINO *et al.*, 2017; ROVER *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018). A partir dos parâmetros mencionados, a amostra mínima estimada foi de 10 espécimes por grupo para porcentagem de alteração de volume e área de superfície, 7 para porcentagem de paredes do canal radicular não tocadas, 5 para espaços vazios e 10 para resistência a fratura, sendo adotado um n igual a 10 por grupo.

Concluída a determinação do cálculo amostral, toda a fase experimental foi orientada pelo fluxograma a seguir (Figura 1)

Figura 1. Fluxograma para as diferentes etapas da fase experimental

Seleção da amostra

Após revisão e aprovação do presente estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa das Faculdades Unidas do Norte de Minas, FUNORTE, pelo processo nº 2017.1.293.56.5 e CAAE nº 0073.0.149.003-09 (Anexo 1), foram obtidos 254 pré-molares superiores birradiculares mantidos em solução de timol a 0,1%.

Os dentes foram lavados em água corrente por 24 horas, limpos por meio de raspagem com ultrassom (Profi II Ceramic, Dabi Atlante Ltda, Ribeirão Preto, SP, Brasil) e identificados numericamente em um suporte plástico (Eppendorf do Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brasil), contendo 1 mL de soro fisiológico para posterior armazenamento em estufa (37°C, 100% umidade relativa, 72 horas) visando sua reidratação.

Foram selecionados dentes que apresentavam estruturas coronárias e radiculares híginas, rizogênese completa e bifurcação das raízes a partir do terço cervical ou médio, sendo excluídos dentes que apresentavam lesão cervical não cariada ou trincas após observação em aumento de 40x com auxílio de microscópio digital (Leica, Modelo M165C Mycrosystem, Wrtzlar, Alemanha).

Os dentes foram escaneados utilizando-se o microtomógrafo SkyScan modelo 1174 v.2 (50 kV, 800 mA) (SkyScan, Kontich, Bélgica) do Laboratório de Pesquisa em Endodontia do Departamento de Odontologia Restauradora da FORP-USP com os parâmetros de escaneamento em 50 kV, 276 mA, resolução isotrópica de 26,7 µm, 180° de rotação em torno do eixo vertical, passo de rotação de 1°, quantidade total de 1 quadro (frame), com filtro de alumínio de 0,5 mm de espessura. A fim de assegurar adequado alinhamento das imagens entre as diferentes etapas do estudo, os dentes foram posicionados com a face vestibular de forma perpendicular em relação à fonte de radiação.

As imagens bidimensionais também foram geradas em TIFF e reconstruídas no programa NRecon v.1.6.6.0 (Bruker microCT, Kontich, Bélgica) com redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artifacts*) no valor de 5 (escala de 0 - 20), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 15% (escala de 0 – 100%), de suavização de imagem (*Smoothing*) no valor de 4 (escala de 0 – 10) e histograma de contraste variando entre 0,003 e 0,15. Após a reconstrução, as secções axiais foram salvas em formato JPEG.

Em seguida, o programa CTAn v.1.14.4.1+ (Bruker microCT, Kontich, Bélgica) foi utilizado para processamento e análise das imagens determinando-se a localização da junção cimento-esmalte (JCE) para calcular comprimento e volume da coroa e raiz dental. Após a binarização das áreas de interesse (ROI), por meio da ferramenta *Individual Object Analysis (2D space)*, foram obtidos dados referentes aos parâmetros bidimensionais de área (mm²), perímetro (mm), circularidade, diâmetro maior (mm) e diâmetro menor (mm) dos canais radiculares nos terços cervical, médio e apical. Para isso foi analisado o *slice* central de cada um dos terços bem como outros dois *slices*, sendo um 0,25 mm acima e outro 0,25 mm abaixo do *slice* central. Após a análise bidimensional, por meio da ferramenta *3D Analysis*, obteve-se o volume do da coroa e da raiz. Em seguida, ainda com a ferramenta *3D Analysis* foi determinado o volume (mm³), área de superfície (mm²) e *Structure Index Model* (SMI) considerando-se o canal desde sua embocadura até o forame apical. De forma complementar, modelos tridimensionais dos espécimes foram gerados por meio da ferramenta *Create 3-D Model*, para posterior análise qualitativa.

A partir dos dados tridimensionais, foram selecionados 90 dentes os quais foram organizados em três estratos de volume e comprimento de coroa e raiz para composição de um grupo controle (n=10) e dois grupos experimentais: cavidade de

acesso convencional (n=40) e cavidade de acesso conservativa (n=40). Os dentes foram aleatorizados utilizando o software SPSS 15.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago, IL, EUA), sendo verificada a distribuição homogênea dos grupos pelo teste Anova One-Way (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização dos dentes quanto aos valores de média±desvio-padrão de comprimento de coroa (mm), comprimento de raiz (mm) e comprimento total (mm), volume de coroa (mm³), volume de raiz (mm³) e volume total (mm³) para composição dos grupos experimentais (n=90).

Parâmetro	Controle	Cav. Convencional	Cav. Conservativa	Valor de P
Comprimento Coroa	8,37 ± 0,53	8,49 ± 0,68	8,57 ± 0,64	0,893
Comprimento Raiz	13,72 ± 1,25	13,52 ± 1,30	13,99 ± 1,28	0,382
Comprimento Total	21,50 ± 1,45	22,50 ± 1,67	22,10 ± 1,39	0,621
Volume coroa	335,6 ± 46,4	332,9 ± 40,4	339,8 ± 48,6	0,761
Volume de raiz	274,4 ± 60,5	277,4 ± 41,3	271,1 ± 86,1	0,845
Volume total	615,3 ± 65,7	610,3 ± 70,4	610,9 ± 56,1	0,979

Após a aleatorização inicial para a composição dos grupos controle, cavidade endodôntica conservativa e cavidade endodôntica convencional foi realizada a segunda aleatorização utilizando três estratos de volume (mm³), área de superfície (mm²) e SMI dos canais radiculares. A partir desses dados os grupos de cavidades endodônticas convencional e conservativa foram divididos em 4 sub-grupos de acordo com o sistema de instrumentação (n=10): Protaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), Reciproc (VDW GmbH, Munique, Alemanha), Reciproc Blue (VDW GmbH, Munique, Alemanha) e Hyflex EDM (Coltene/Whaledent, Altstetten, Suíça). A aleatorização das amostras foi realizada no *software* SPSS 15.0 para Windows, sendo que a distribuição homogênea dos grupos foi verificada para os parâmetros volume (P=0,783), área (P=0,811) e SMI (P=0,943) pelo teste Anova *Two-Way* (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização dos dentes quanto aos valores de média $\pm$ desvio-padrão de volume (mm³), área (mm²) e SMI para composição dos grupos experimentais.

Parâmetro	Cavidade Convencional				Cavidade Conservativa			
	PTU	Reciproc	R Blue	EDM	PTU	Reciproc	R Blue	EDM
Volume	3,5 $\pm$ 0,7	3,3 $\pm$ 1,1	3,2 $\pm$ 1,0	3,3 $\pm$ 0,7	3,4 $\pm$ 1,0	3,2 $\pm$ 0,9	3,2 $\pm$ 0,6	3,3 $\pm$ 1,4
Área	25,4 $\pm$ 3,3	24,9 $\pm$ 3,6	23,7 $\pm$ 4,8	23,1 $\pm$ 5,3	23,3 $\pm$ 4,1	23,4 $\pm$ 4,2	22,9 $\pm$ 5,8	23,5 $\pm$ 4,5
SMI	2,9 $\pm$ 0,1	2,9 $\pm$ 0,2	2,8 $\pm$ 0,3	3,0 $\pm$ 0,2	2,9 $\pm$ 0,1	2,9 $\pm$ 0,3	2,9 $\pm$ 0,5	3,0 $\pm$ 0,3

Todos os procedimentos realizados no presente estudo: cavidades de acesso, preparo biomecânico, obturação do sistema de canais radiculares e restauração coronária, foram realizados por um único operador com experiência clínica utilizando microscópio operatório (DM Plus IB, Opto Eletrônica, São Carlos, São Paulo, Brasil) com aumento de 12X e 20X.

Protocolo e avaliação da abertura da cavidade de acesso a câmara pulpar

Os dentes do grupo controle não foram submetidos a abertura coronária, permanecendo hígidos e avaliados apenas quanto à resistência à fratura e padrão de falha. As cavidades endodônticas convencionais foram realizadas com ponta diamantada 1014HL (KG Sorensen, São Paulo, Brasil) em alta rotação posicionada no centro do sulco principal paralelamente ao longo eixo do dente com ligeira inclinação para o canal palatino até atingir a câmara pulpar, seguido de movimentos de “dentro para fora” para remoção de todo o teto da câmara pulpar. Em seguida foi utilizada broca Endo Z (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) para o alisamento das paredes cavitárias, dando ligeira divergência para oclusal resultando em formato ovóide com dimensão méso-distal compatível com diâmetro da broca Endo Z e dimensão vestibulo palatino correspondente a metade da distância entre o sulco principal e ponta de cúspide vestibular e palatina (Figura 2) (INGLE, 1965; KRISHAN *et al.*, 2014; PLOTINO *et al.*, 2017).

Figura 2. Cavidade endodôntica de acesso convencional. (A) Aspecto inicial do pré-molar superior; (B) Broca 1014HL posicionada no centro do sulco principal paralelamente ao longo eixo do dente com ligeira inclinação para o canal palatino; (C) Broca Endo Z utilizada para alisamento das paredes cavitárias e propiciar ligeira divergência para oclusal. (D) Cavidade de acesso concluída com formato ovóide, dimensão méso-distal compatível com diâmetro da broca Endo Z e dimensão vestibulo palatino correspondente à metade da distância entre o sulco principal e ponta de cúspide vestibular e palatina.

As cavidades endodônticas conservativas foram realizadas com ponta diamantada 1014HL, que possui diâmetro de 1,4 mm, acionada em alta rotação posicionada no centro do sulco principal paralelamente ao longo eixo do dente com ligeira inclinação para o canal palatino até atingir a câmara pulpar, para a divergência das paredes foi utilizado inserto diamantado tronco-cônico (E7D, Helse Dental Technology, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brasil) em dispositivo ultrassônico (EMS, Le Sentier, Suíça), com potência 3, removendo dentina nas paredes vestibular e palatina da cavidade de acesso até a visualização das entradas dos canais vestibular e palatino, com preservação do teto da câmara pulpar e dentina pericervical (Figura 3) (CLARK; KHADEMI, 2010a; CLARK; KHADEMI, 2010b; KRISHAN *et al.*, 2014; PLOTINO *et al.*, 2017).

Figura 3. Cavidade endodôntica de acesso conservativa. (A) Aspecto inicial do pré-molar superior; (B) Broca 1014HL posicionada no centro do sulco principal paralelamente ao longo eixo do dente com ligeira inclinação para o canal palatino; (C) Aspecto da cavidade após broca 1014HL atingir câmara pulpar; (D) inserto ultrassônico inserto diamantado tronco-cônico E7D. (E) inserto E7D posicionado para remoção dentinária. (F) Cavidade endodôntica de acesso permitindo a visualização do canal vestibular. (G) Cavidade endodôntica permitindo a visualização do canal palatino.

Após a realização das cavidades endodônticas de acesso a câmara pulpar, os espécimes foram submetidos a novo exame microtomográfico adotando os parâmetros de escaneamento inicial e reconstrução descritos anteriormente. No programa DataViewer v.1.5.0 (Bruker microCT, Kontich, Bélgica) foi realizado o alinhamento das imagens pós cavidade de acesso em relação as imagens obtidas no exame microtomográfico inicial. Após o procedimento de alinhamento, foram salvas imagens no formato *Bitmap* (BMP) em um novo diretório, com o conjunto de imagens do exame microtomográfico inicial, após cavidade de acesso, bem como a diferença das imagens inicial e após acesso.

Após a sobreposição e alinhamento dos espécimes, realizou-se novo processamento e análise das imagens por meio do programa CTAn v.1.17.7.2+ utilizando os mesmos parâmetros descritos anteriormente. Assim, foi analisado o volume (mm^3) coronário remanescente ($\text{Vol}_{\text{remanescente}}$), sendo calculado a

porcentagem de remoção de estrutura coronária(%remoção) em relação ao volume coronário inicial (Vol_{inicial}) pela fórmula:

$$\%remoção = (Vol_{inicial} - Vol_{remanescente}) * 100 / (Vol_{inicial}).$$

Protocolo e avaliação do preparo biomecânico

Os procedimentos de preparo biomecânico foram semelhantes para os grupos de cavidade endodôntica convencional e conservativa.

Inicialmente, o canal radicular foi irrigado e inundado com 2 mL de hipoclorito de sódio (NaOCl) 1% com seringa plástica descartável (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA) e agulha NaviTip com diâmetro 0,30 mm (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA). Foi realizada a exploração do canal radicular com lima tipo K #15 de aço inoxidável (Dentsply Sirona, Petrópolis, RJ, Brasil) de forma passiva, até que sua ponta coincidisse com o forame apical, alcançando o comprimento real do canal radicular. Desta medida subtraiu-se 1,0 mm para o estabelecimento do comprimento de trabalho (CT). O acionamento mecânico dos sistemas de instrumentação foi realizado com o contra ângulo redutor 6:1 Sirona (SN 25185; VDW GmbH, Munique, Alemanha) acoplado ao micro-motor SMR 114058 (VDW GmbH, Munique, Alemanha) que, por sua vez, estava conectado ao motor elétrico VDW Silver (VDW GmbH, Munique, Alemanha). Cada sistema de instrumentação foi utilizado em 3 pré-molares, sendo descartado em seguida (VIEIRA *et al.*, 2008; PIRANI *et al.*, 2016; BUENO *et al.*, 2017).

Os instrumentos Protaper Universal foram acionados em movimento de rotação contínua com velocidade e torque determinados conforme instruções do fabricante. O instrumento SX (velocidade: 250 rpm; torque: 300 g.cm) foi utilizado nos

dois terços iniciais do canal radicular e os instrumentos S1 (velocidade: 250 rpm; torque: 300 g.cm) e S2 (velocidade: 250 rpm; torque: 100 g.cm) até o CT com movimentos de pincelamento. Os instrumentos F1 e F2 (velocidade: 250 rpm; torque: 150 g.cm) foram utilizados até o comprimento de trabalho com movimentos de avanço e retrocesso.

Para os sistemas Reciproc e Reciproc Blue foram utilizados os instrumentos 25.08 em movimento reciprocante automaticamente pré-ajustado no motor VDW Silver. Os instrumentos foram usados de forma passiva, com movimento de entrada e retrocesso, e a cada 3 avanços, retirado do canal e limpo com gaze. Estes passos foram repetidos até atingir o CT.

Os instrumentos Hyflex EDM foram acionados em movimento de rotação contínua com velocidade e torque determinados conforme instruções do fabricante. Os instrumentos foram utilizados em movimento de entrada e retrocesso com ligeira pressão apical, sendo o instrumento 25.12 utilizado nos dois terços iniciais do canal (velocidade: 500 rpm e torque: 2,5 g.cm) e os instrumentos 10.05 e 25.∞ até o CT (velocidade: 300 rpm e torque: 1,8 g.cm).

Para todos os instrumentos utilizados foi realizada a irrigação e inundação do canal radicular com 3 mL de NaOCl 1% a cada troca ou ciclo de instrumentação. Uma vez finalizado o preparo, foi realizada irrigação final com 5 mL de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 17% durante 5 minutos para remoção da camada de *smear*, seguida de irrigação com 10 mL de água destilada para neutralizar os efeitos residuais do NaOCl e do EDTA. Os espécimes foram recolocados nos respectivos tubos Eppendorf contendo soro fisiológico, e armazenados em estufa (37° C, 100% de umidade relativa) até o momento da análise microtomográfica.

Após a realização do preparo biomecânico com os diferentes sistemas mecanizados, os espécimes foram submetidos novamente a exame microtomográfico adotando os parâmetros de escaneamento inicial e reconstrução descritos anteriormente. No programa DataViewer v.1.5.0 foi realizado o alinhamento das imagens pós-instrumentação em relação as imagens obtidas no exame microtomográfico inicial. Após o procedimento de alinhamento, foram salvas imagens no formato *Bitmap* (BMP) em um novo diretório, com o conjunto de imagens do exame microtomográfico inicial, após preparo, bem como a diferença das imagens inicial e após preparo.

Após a sobreposição e alinhamento dos espécimes, foi realizado novo processamento e análise das imagens por meio do programa CTAn v.1.17.7.2+ utilizando os mesmos parâmetros descritos anteriormente. Assim, foram analisados os dados de volume (mm^3) da coroa e raiz, dados 2D (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior e diâmetro menor), 3D (volume, área de superfície e SMI) e o modelo tridimensional dos canais radiculares após o preparo.

A partir dos dados 2D e 3D tabulados dos escaneamentos inicial e pós-preparo, foram determinadas as diferenças entre os momentos, bem como a porcentagem de alteração para cada um dos parâmetros analisados.

O cálculo do transporte do canal radicular foi realizado utilizando os valores dos centróides (ponto no interior de uma forma geométrica que define o seu centro) dos eixos X e Y em cada secção de cada espécime, além da posição no eixo Z relativa a eles, por meio do programa CTAn v.1.17.7.2+ para os canais radiculares antes e após a instrumentação. Com isto, obteve-se um sistema de coordenadas tridimensionais onde x indica a quantidade deslocada na direção positiva do eixo que contém os deslocamentos para frente; y indica a quantidade deslocada na direção

positiva do eixo que contém os deslocamentos para o lado; e z indica a quantidade deslocada na direção positiva que contém os deslocamentos para cima. Assim, a partir das coordenadas de dois pontos $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$ e $P_2 = (x_2, y_2, z_2)$, relativos à posição do centro do mesmo canal em uma mesma secção transversal, foi calculado a distância entre eles pela fórmula:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

A partir das imagens binarizadas iniciais e após instrumentação foram criadas linhas da superfície dos canais para determinação das paredes não tocadas do canal radicular. Para isso, foi utilizada a ferramenta *custom processing* do programa CTAn v.1.17.7.2+, onde funções e operações matemáticas foram executadas através da criação de *task lists*, ou lista de tarefas. Nas imagens iniciais e após instrumentação foram realizadas as operações *Dilate 1 pixel* e *Dilate 2* e *Erode 1 pixel*, respectivamente. As imagens obtidas após as operações foram subtraídas por suas respectivas imagens originais, obtendo-se assim as linhas para o canal inicial e pós-instrumentação. Em seguida as imagens em *Bitmap* (BMP) das linhas criadas foram salvas em novos diretórios para o canal inicial e pós-instrumentação.

A partir da obtenção das linhas referentes ao canal inicial e o canal após o preparo biomecânico foram realizadas operações booleanas usando a ferramenta *custom processing* para determinar a área tocada. As imagens das linhas das áreas tocadas foram salvas em um novo diretório em imagens no formato *Bitmap* (BMP). As imagens das linhas do canal inicial e das linhas das áreas não tocadas foram carregadas no programa CTAn v.1.17.7.2+ onde foi determinada a área de superfície

das imagens, sendo a área de paredes não tocadas expressa em porcentagem em relação a área inicial do canal radicular.

Previamente à execução dos procedimentos restauradores foi realizada a obturação do canal radicular de todos os espécimes. Inicialmente a adaptação do cone principal no CT foi verificada por meio tátil, visual e por meio de radiografias obtidas nos sentidos orto e méso-radial. Em seguida os canais foram secos com cones de papel absorvente R25 (Reciproc, VDW GmbH, Munique, Alemanha) e o cimento obturador AH Plus (Dentsply GmbH, Konstanz, Alemanha) foi manipulado de acordo com as instruções do fabricante e inserido no canal radicular com uma lima tipo K #25 (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça), com movimentos de rotação no sentido anti-horário para pincelar uma pequena quantidade de cimento nas paredes dos canais radiculares. O cone principal com cimento foi introduzido com movimento circular e gradativo até o CT. Em seguida, o excesso do material obturador na entrada do canal foi removido com instrumento (Odous, Belo Horizonte, MG, Brasil) aquecido e com a guta percha ainda plastificada foi realizada a condensação vertical da massa obturadora usando condensador manual (Odous, Belo Horizonte, MG, Brasil), com pressão leve e em direção apical por 5 segundos. A limpeza final da câmara pulpar foi realizada com esponjas umedecidas em álcool, sendo as cavidades endodônticas de acesso seladas com cimento provisório (Coltosol, Coltene/Whaledent, S.A., Suíça). Os espécimes foram armazenados a 37°C e 100% de umidade durante 7 dias.

Protocolo e avaliação dos procedimentos restauradores

Após os procedimentos de acesso e preparo biomecânico foi determinado o volume de coroa e raiz dos espécimes, para criação de três estratos destes parâmetros, assim os grupos de cavidade endodôntica convencional (n=40) e

conservativa (n=40) foram aleatorizados em 4 subgrupos experimentais (n=10) de acordo com o material restaurador: controle positivo (sem restauração definitiva), resina composta convencional, resina composta *bulk fill* regular e resina composta *bulk fill* fluida associada à resina composta convencional. Para aleatorização dos dentes foi utilizado o software SPSS 15.0 para Windows (SPSS Inc, Chicago, IL, EUA), sendo verificada a distribuição homogênea verificada pelo teste Anova Two-Way ($P>0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3 – Caracterização dos dentes quanto aos valores de média $\pm$ desvio-padrão de comprimento de coroa (mm), comprimento de raiz (mm) e comprimento total (mm), volume de coroa (mm³), volume de raiz (mm³) e volume total (mm³) para composição dos grupos experimentais.

Cavidade	Material Restaurador	Parâmetro					
		Comp. Coroa	Comp. Raiz	Comp. Total	Vol. coroa	Vol. de raiz	Vol. total
Cavidade Convencional	Controle	8,5 $\pm$ 0,7	13,5 $\pm$ 1,1	22,5 $\pm$ 1,7	300,9 $\pm$ 45,3	277,4 $\pm$ 41,3	577,4 $\pm$ 70,4
	Res. Conv.	8,6 $\pm$ 0,6	13,9 $\pm$ 1,3	21,1 $\pm$ 1,3	299,8 $\pm$ 40,2	269,1 $\pm$ 86,1	568,9 $\pm$ 54,3
	Res. B. Fill	9,1 $\pm$ 0,8	13,7 $\pm$ 1,5	21,6 $\pm$ 1,6	304,6 $\pm$ 39,8	268,4 $\pm$ 41,3	572,3 $\pm$ 66,8
	Conv.+ fluida	8,9 $\pm$ 0,7	13,3 $\pm$ 1,2	21,9 $\pm$ 1,4	302,5 $\pm$ 41,7	271,1 $\pm$ 86,6	573,9 $\pm$ 56,1
Cavidade Conservativa	Controle	8,5 $\pm$ 0,6	13,6 $\pm$ 1,4	22,5 $\pm$ 1,2	317,3 $\pm$ 44,3	279,4 $\pm$ 51,5	596,3 $\pm$ 69,5
	Res. Conv.	8,7 $\pm$ 0,6	13,8 $\pm$ 1,6	20,9 $\pm$ 1,4	315,8 $\pm$ 36,8	270,1 $\pm$ 86,1	585,9 $\pm$ 57,7
	Res. B. Fill	8,8 $\pm$ 0,5	13,5 $\pm$ 1,3	21,5 $\pm$ 1,7	320,5 $\pm$ 30,7	267,4 $\pm$ 71,3	587,1 $\pm$ 71,4
	Conv.+fluida	8,6 $\pm$ 0,8	13,9 $\pm$ 1,2	21,9 $\pm$ 1,5	318,8 $\pm$ 44,7	268,1 $\pm$ 69,7	588,9 $\pm$ 59,6

No grupo controle positivo os dentes não foram restaurados, sendo mantidos com acesso endodôntico prévio e material restaurador provisório (Coltosol, Coltene/Whaledent, S.A., Suíça).

Em relação ao grupo de resina composta convencional, as cavidades endodônticas de acesso foram condicionadas com ácido fosfórico 37% (3M ESPE, St Paul; EUA) durante 30 segundos para esmalte, 15 segundos para dentina e lavadas por 30 segundos com jatos de água. Após controle de umidade com leves jatos de ar e papel absorvente, foi utilizado o sistema adesivo SingleBond Universal (3M ESPE, St Paul, EUA), no modo de condicionamento ácido total, aplicado ativamente por 20 segundos seguido de evaporação do solvente com leve jato de ar por 10 segundos e fotoativação com unidade LED com potência de 1200 mW/cm² (RadiiCal Plus - SDI

Limited, Bayswater, Victoria, Austrália) por 20 segundos. As cavidades endodônticas de acesso foram restauradas com resina convencional nanohíbrida (Filtek Z350XT, 3M ESPE, St Paul, MN, EUA) com incrementos oblíquos de aproximadamente 2 mm de espessura fotoativados por 40 segundos com unidade LED.

Para o grupo de resina composta *bulk fill* regular foi realizado condicionamento ácido e aplicação do sistema adesivo de maneira similar ao grupo resina composta convencional. As cavidades endodônticas de acesso foram restauradas com resina *bulk fill* regular (Filtek Bulk Fill Posterior Restorative, 3M ESPE, St Paul, MN, EUA) com incrementos oblíquos de aproximadamente 4 mm de espessura fotoativados por 40 segundos com unidade LED.

No grupo de resina composta *bulk fill* fluida associada à resina composta convencional, foi realizado condicionamento ácido e aplicação do sistema adesivo de maneira similar ao grupo resina composta convencional. As cavidades endodônticas de acesso foram preenchidas até a junção amelo-dentinária com resina *bulk fill* fluida (Filtek Bulk Fill Flow, 3M ESPE, St Paul, MN, EUA) seguido de fotoativação por 40 segundos com unidade LED. A porção de esmalte foi restaurada com resina convencional nanohíbrida (Filtek Z350XT, 3M ESPE, St Paul, MN, EUA) com incrementos oblíquos de aproximadamente 2 mm de espessura fotoativada por 40 segundos com unidade LED.

Após 24 horas de armazenamento em estufa (37°C, 100% umidade relativa) foi realizado o acabamento e polimento das restaurações com pontas diamantadas (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) e pontas de borracha abrasivas (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil).

Após a restauração coronária, os dentes foram submetidos a novo escanemanto utilizando-se o microtomógrafo modelo 1176 (Bruker micro-CT, Kontich,

Bélgica) do Laboratório de Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto. Os dentes foram posicionados com auxílio de suporte de isopor tubular meia lua, sendo determinado os parâmetros de escaneamento em 90 kV, 276 mA, resolução isotrópica de 17,2µm, 360° de rotação em torno do eixo vertical, passo de rotação de 0,7°, quantidade total de 4 quadros (*frames*), com filtro de cobre de 0,1 mm de espessura. As projeções bidimensionais das imagens geradas foram arquivadas no formato *Tagged Image File* (TIFF). Ao término do escaneamento, os espécimes foram inseridos novamente no suporte plástico “Eppendorf” contendo soro fisiológico e armazenados em estufa (37°C, 100% umidade relativa).

As imagens bidimensionais também foram geradas em formato TIFF e reconstruídas no programa NRecon v.1.6.6.0 com redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artifacts*) no valor de 5 (escala de 0 - 20), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 45% (escala de 0 – 100%), de suavização de imagem (*Smoothing*) no valor de 0 (escala de 0 – 10) e histograma de contraste variando entre 0,002 e 0,012. Após a reconstrução, as secções axiais foram salvas em formato JPEG.

Após o escaneamento e reconstrução dos espécimes foi realizado novo processamento e análise das imagens por meio do programa CTAn v.1.17.7.2+ utilizando os mesmos parâmetros descritos anteriormente. Assim, foi determinado o volume de material restaurador (mm³) ($Vol_{materialrestaurador}$), volume de espaços vazios (mm³) ($Vol_{espaçosvazios}$) e volume de material obturador (mm³) ($Vol_{materialobturador}$) em toda a coroa tendo como referência a junção amelocementária. A partir desses dados,

foram determinados a porcentagem de material restaurador e espaços vazios por meio das fórmulas:

$$\%_{\text{material restaurador}} = \text{Vol}_{\text{material}} * 100 / (\text{Vol}_{\text{espaços vazios}} + \text{Vol}_{\text{material restaurador}} + \text{Vol}_{\text{material obturador}}).$$

$$\%_{\text{vazios}} = \text{Vol}_{\text{vazios}} * 100 / (\text{Vol}_{\text{espaços vazios}} + \text{Vol}_{\text{material restaurador}} + \text{Vol}_{\text{material obturador}}).$$

Após análises da porcentagem de material restaurador e de espaços vazios, os dentes foram incluídos em resina de poliestireno e o ligamento periodontal simulado com material de moldagem a base de poliéter (Impregum F, 3M ESPE, St. Paul, EUA) (SOARES et al., 2005). Os dentes foram demarcados com a lapiseira distando 2 mm apicalmente da junção amelocementária e a porção radicular recoberta com cera rosa 7 (Epoxiglass, Diadema, SP, Brasil) com espessura de 0,3 mm para simulação do ligamento periodontal, sendo essa espessura conferida com paquímetro digital (Mitutoyo, Tokyo, Japão). Em seguida, as raízes foram posicionadas em cilindros de PVC com 15,0 mm de altura e 25,0 mm de diâmetro e filme radiográfico com perfuração central compatível com o volume da raiz. O dente foi posicionado e fixado ao filme radiográfico com cera rosa. Após estes procedimentos, resina a base poliestireno auto-polimerizável (Aerojet, São Paulo, Brasil) foi manipulada de acordo com as recomendações do fabricante e vertida no interior do cilindro de PVC. Após a presa química da resina de poliestireno, os dentes foram removidos dos alvéolos artificiais e limpos com água e jatos de bicarbonato. O material de moldagem a base de poliéter foi manipulado segundo as recomendações do fabricante e inserido no alvéolo artificial seguido da inserção do dente. O mesmo foi mantido sob pressão

digital até que a marcação feita inicialmente com o grafite coincidisse com a superfície do cilindro de resina de poliestireno.

Após a inclusão, os espécimes foram submetidos à carga axial de compressão com velocidade de 0,5 mm/min em uma máquina de ensaio mecânico universal Instron 4444 (Instron Corporation, Canton, MA, EUA). A carga compressiva foi aplicada usando uma esfera de aço de 6 mm de diâmetro posicionada no centro do dente, com contato nas cúspides vestibular e palatina. Os valores de força em Newtons (N) requerida para a fratura foram anotados e submetidos à análise estatística.

Os espécimes fraturados foram analisados em estereomicroscópio (Leica M165C, Leica Microsystems GmbH., Wetzlar, Alemanha) com aumento de 50X para determinar os tipos de fratura: Tipo I (fraturas coronárias envolvendo os terços oclusal ou médio da coroa), Tipo II (fratura coronárias envolvendo o terço cervical da coroa), Tipo III (fratura radicular envolvendo o terço cervical da raiz), Tipo IV (Fratura radicular envolvendo o terço médio ou apical da raiz).

A realização das simulações utilizando o Método dos Elementos Finitos foi realizada no Laboratório de Pesquisa da Faculdade de Odontologia da Universidade de Ribeirão Preto. Inicialmente foi selecionado um pré-molar superior representativo dos dentes avaliados, o qual foi escaneado no microtomógrafo modelo 1176, reconstruído e analisado conforme descrito anteriormente para avaliação do material restaurador. No programa CTAn v.1.17.7.2+ foram salvos arquivos em formato .STL (STereoLithography) do esmalte, dentina e cavidade pulpar.

Os arquivos *.STL foram importados para o programa Rhinoceros 3D 5.0 (McNeel and Associates, Seattle, WA, EUA) (Figura 4A) para desenho dos BioCAD do esmalte, dentina e polpa dental através da criação de superfícies NURBS (Non

Uniform Rational Bазier Spline) baseada na malha do arquivo *.STL (Figura 4B). Concluído o modelo hígido, foi realizada a simulação do ligamento periodontal (Figura 4C), inclusão em cilindro de resina de poliestireno (Figura 4D) e esfera de aplicação do carregamento simulando as condições do estudo laboratorial (Figura 4E e F).

Figura 4. Criação das superfícies no programa Rhinoceros 3D 5.0. (A) Arquivos *.STL importados no programa Rhinoceros 3D 5.0; (B) Superfícies de esmalte, dentina e polpa; (C) Simulação do ligamento periodontal; (D) Simulação do cilindro de resina de poliestireno; (E) Simulação da esfera para carregamento oclusal; (F) Área de apoio da esfera para a aplicação de carga (seta preta).

A partir do modelo tridimensional do pré-molar superior hígido, foram simuladas as cavidades endodônticas convencional e conservativa como material restaurador único, para simular os grupos de restauração com resina composta convencional e *bulk fill* regular e sem restauração, e com dois materiais para simular o grupo restaurado com resina composta *bulk fill* fluida associada à resina composta convencional. Para gerar as cavidades endodônticas de acesso conservativa e convencional foram usados arquivos *.STL dessas cavidades obtidos do escaneamento para avaliação do material restaurador descrito anteriormente. A partir

desses arquivos foram geradas as cavidades e materiais restauradores no dente hígido através de operações booleanas e ferramentas específicas do programa (*Split*, *join*, entre outras). Nessa etapa foi simulado ainda a presença de espaços vazios nas áreas de cornos pulparem em dentes com cavidades conservativas, a fim de simular o máximo das condições experimentais.

Finalizado o BioCAD de cada condição experimental foi gerado um Arquivo STEP (Standard for the Exchange of Product model data) para importação pelo programa de simulação por elementos finitos no programa SimLab™ 17.0 (Altair/HyperWorks, Troy, Michigan, EUA). No programa foi realizada a malha para cada parte do modelo individualmente verificando o detalhe a ser reproduzido, para definição do tamanho do elemento a ser utilizado. Foi inicialmente realizada a malha de superfície e posteriormente a malha volumétrica com elementos tetraédricos em que no modelo hígido totalizaram 627515 elementos e 786949 nós; no modelo de cavidade endodôntica convencional com um material foi utilizado um total de 628238 elementos e 787511 nós; no modelo de cavidade endodôntica convencional com dois materiais foi utilizado um total de 630212 elementos e 789804 nós; no modelo de cavidade endodôntica conservativa com um material foi utilizado um total de 629223 elementos e 78862 nós; e no modelo de cavidade endodôntica conservativa com dois materiais foi utilizado um total de 629364 elementos e 788777 nós, sendo observado ao final adequada congruência da malha entre regiões de malha mais grossa para malha mais fina.

Os materiais foram considerados homogêneos e isotrópicos e os parâmetros dos materiais considerados e utilizados nas simulações dos modelos propostos são apresentados na Tabela 4. Foram definidas as condições de contorno com contato colado entre todas as estruturas com exceção do contato entre esfera e esmalte;

esfera e material restaurador; e material restaurador provisório e demais estruturas onde foi considerado atrito, sendo o coeficiente de atrito fixado em 0,3. O modelo fixado na superfície externa e inferior do cilindro de resina de poliestireno e nas linhas externas superiores da esfera sendo aplicado um carregamento de 100 N na superfície superior da esfera (Figura 5).

Tabela 4 – Módulo de elasticidade (GPa), Coeficiente de Poisson, Resistência a tração (MPa), Resistência a compressão (MPa) dos materiais restauradores e estrutura dental utilizados para análise por meio do Método dos Elementos Finitos.

Material	ME*	CP*	Referência
Dentina	18,6	0,31	REES <i>et al.</i> (1994)
Esmalte	84,2	0,30	VERSLUIS , VERSLUIS-TANTBIROJN (2011)
Resina composta convencional	21,5	0,24	SCHLIEBE <i>et al.</i> (2016)
Resina Composta <i>bulk fill</i> regular	14,3	0,24	SCHLIEBE <i>et al.</i> (2016)
Resina Composta <i>bulk fill</i> fluida	10,1	0,24	SCHLIEBE <i>et al.</i> (2016)
Polpa	0,02	0,45	ERSOZ (2000)
Ligamento periodontal (Poliéter)	0,05	0,45	FONSECA <i>et al.</i> (2008)
Guta percha	0,0069	0,45	CRAIG; FARAH; POWERS (1976)
Resina de Poliestireno	13,5	0,31	SOARES <i>et al.</i> (2008)b

* ME = módulo de elasticidade; CP = Coeficiente de Poisson.

Figura 5. Condições de contorno, fixação e aplicação de criação das superfícies no programa Rhinoceros 3D 5.0. (A) Fixação do cilindro de resina de poliestireno em toda superfície externa e porção inferior (setas em verde), fixação da esfera (setas em azul) e área de aplicação de carga (setas em roxo); (B) Detalhe da fixação da esfera (setas em azul) e área de aplicação de carga (setas em roxo).

Após a definição das condições de contorno dos modelos, os mesmos foram solucionados no módulo de processamento OptiStruct, sendo avaliadas no módulo de pós processamento do SimLab™ 17.0 (Altair/HyperWorks, Troy, Michigan, EUA) para

análise qualitativa das tensões e de coerência dos deslocamentos. A análise qualitativa dos modelos foi realizada empregado o critério de von Mises e Tensão máxima principal.

Análises estatísticas

Os dados bidimensionais, tridimensionais, de centralização do canal radicular, paredes não tocadas do canal radicular, porcentagem de material restaurador e resistência a fratura foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (teste de Levene). Os dados bidimensionais e tridimensionais de preparo do canal radicular foram submetidos ao teste T pareado para comparação dos dados obtidos antes a após o preparo do canal radicular. Os dados bidimensionais e tridimensionais de diferença promovida pelo preparo, paredes não tocadas do canal radicular, porcentagem de material restaurador e resistência à fratura foram submetidos ao teste Anova Two-way para avaliar a influência dos fatores cavidade endodôntica de acesso (cavidade de acesso convencional e cavidade de acesso conservativa) e sistema de instrumentação (Protaper Universal, Reciproc, Reciproc Blue e Hyflex EDM). Já os dados de centralização do canal radicular foram submetidos ao teste Anova com parcela subdividida para a influência dos fatores cavidade endodôntica de acesso (cavidade de acesso convencional e cavidade de acesso conservativa) e sistema de instrumentação (Protaper Universal, Reciproc, Reciproc Blue e Hyflex EDM) e a sub-parcela terços radiculares (cervical, médio e apical). Para ambas Análises de Variância foi utilizado o teste de Tukey para comparações múltiplas entre os grupos. Os dados de padrão de falha foram submetidos ao teste qui-quadrado. Todas as análises foram realizadas no programa SPSS 15.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago, IL,EUA) com nível de probabilidade fixado em 95% ($p < 0,05$).

*R*esultados

A fim de verificar a padronização das cavidades endodônticas de acesso foi avaliado o percentual de remoção de estrutura coronária conforme descrito na Tabela 5. Pode-se observar que as cavidades endodônticas conservativas apresentaram menor remoção de estrutura dental quando comparadas às cavidades endodônticas tradicionais ($P < 0,001$).

Tabela 5. Valores de volume (mm^3) antes e após confecção de cavidade endodôntica de acesso e alteração absoluta (Δ) e percentual (%).

Cavidade Endodôntica de Acesso	Antes	Após	Δ	%
Cavidade convencional	332,9 $\pm$ 40,4	300,8 $\pm$ 38,9	33,2 $\pm$ 5,7	10,4 $\pm$ 0,89 A
Cavidade conservativa	339,8 $\pm$ 48,6	323,4 $\pm$ 46,2	14,4 $\pm$ 2,3	4,8 $\pm$ 0,71 B

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste T ($P < 0,001$).

Avaliação morfológica do Preparo Biomecânico

Os valores antes e após preparo biomecânico e diferenças absolutas (Δ) referentes aos dados morfométricos bidimensionais (área, perímetro, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor) obtidos para os grupos experimentais e terços radiculares estão dispostos nas Tabelas 6 a 10.

Em relação à área, perímetro, circularidade e diâmetro menor (Tabelas 6, 7, 8 e 10, respectivamente), observou-se que os sistemas de instrumentação reciprocantes e rotatórios promoveram aumento significativo após o preparo em cavidades endodônticas convencional e conservativa para os diferentes terços avaliados ($P < 0,001$). Os resultados evidenciaram ainda que as cavidades endodônticas convencional e conservativa não impactaram no aumento percentual para os sistemas de instrumentação e terços radiculares. Resultados similares foram observados para o diâmetro maior (Tabela 9), no entanto, não foi observado aumento significativo no diâmetro maior quando analisado o terço cervical ($P > 0,05$).

Tabela 6. Valores de área antes e após instrumentação (mm²) e alteração absoluta (Δ) para as diferentes cavidades endodônticas de acesso, sistema de instrumentação e terços radiculares.

Terço radicular	Cavidade de Acesso Convencional				Cavidade de Acesso Conservativa			
	PTU	R25	R25 Blue	EDM	PTU	R25	R25 Blue	EDM
Cervical								
Antes	0,45±0,14a	0,50±0,19a	0,41±0,17a	0,40±0,09a	0,53±0,09a	0,63±0,23a	0,48±0,12a	0,50±0,19a
Depois	0,63±0,14b	0,70±0,25b	0,62±0,14b	0,62±0,21b	0,73±0,16b	0,86±0,29b	0,67±0,21b	0,86±0,29b
Δ	0,19±0,08A	0,20±0,10A	0,22±0,07A	0,15±0,05A	0,19±0,07A	0,23±0,12A	0,22±0,10A	0,36±0,12A
Médio								
Antes	0,22±0,09a	0,26±0,09a	0,23±0,08a	0,23±0,07a	0,19±0,05a	0,27±0,11a	0,24±0,05a	0,29±0,10a
Depois	0,33±0,08b	0,40±0,19b	0,35±0,12b	0,35±0,13b	0,28±0,08b	0,47±0,10b	0,40±0,15b	0,50±0,12b
Δ	0,12±0,05A	0,15±0,08A	0,13±0,05A	0,12±0,03A	0,10±0,06A	0,20±0,09A	0,15±0,07A	0,20±0,11A
Apical								
Antes	0,06±0,03a	0,09±0,05a	0,06±0,03a	0,08±0,03a	0,06±0,04a	0,07±0,05a	0,07±0,04a	0,09±0,05a
Depois	0,12±0,05b	0,14±0,07b	0,11±0,04b	0,14±0,06b	0,11±0,07b	0,12±0,06b	0,13±0,09b	0,13±0,08b
Δ	0,6±0,05A	0,6±0,05A	0,05±0,03A	0,06±0,02A	0,05±0,04A	0,06±0,05A	0,07±0,06A	0,06±0,04A

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste T pareado para os valores antes e após instrumentação ($P < 0,05$). Letras Maiúsculas diferente indicam diferenças estatísticas ao teste de Tukey para os diferentes sistemas e cavidades endodônticas de acesso para os valores de alteração absoluta ($P < 0,05$)

Tabela 7. Valores de perímetro antes e após instrumentação (mm) e alteração absoluta (Δ) para as diferentes cavidades endodônticas de acesso, sistema de instrumentação e terços radiculares.

Terço radicular	Cavidade de Acesso Convencional				Cavidade de Acesso Conservativa			
	PTU	R25	R25 Blue	EDM	PTU	R25	R25 Blue	EDM
Cervical								
Antes	2,25±0,92a	2,44±1,07a	2,51±1,00a	2,44±1,07a	2,47±0,98a	2,36±1,11a	2,29±1,06a	2,37±0,56a
Depois	2,83±0,87b	2,93±0,94b	2,98±0,87b	2,93±0,94b	3,05±0,92b	2,86±0,79b	2,84±0,75b	2,90±0,79b
Δ	0,59±0,18A	0,49±0,13A	0,47±0,20A	0,49±0,13A	0,58±0,17A	0,50±0,23A	0,53±0,22A	0,53±0,16A
Médio								
Antes	1,28±0,16a	1,40±0,36a	1,48±0,43a	1,40±0,36a	1,33±0,35a	1,39±0,52a	1,50±0,63a	1,21±0,24a
Depois	2,02±0,58b	2,28±0,63b	2,40±0,67b	2,28±0,63b	2,10±0,71b	2,49±0,62b	2,43±0,71b	1,93±0,63b
Δ	0,74±0,27A	0,88±0,19A	0,92±0,26A	0,88±0,19A	0,74±0,20A	0,90±0,30A	0,93±0,41A	0,72±0,24A
Apical								
Antes	0,89±0,23a	0,84±0,18a	0,91±0,22a	0,84±0,18a	0,85±0,21a	0,80±0,24a	0,80±0,24a	0,92±0,31a
Depois	1,08±0,61b	1,17±0,53b	1,30±0,40b	1,17±0,59b	1,07±0,33b	1,25±0,31b	1,25±0,31b	1,15 ±0,52b
Δ	0,18±0,15A	0,33±0,18A	0,39±0,21A	0,33±0,18A	0,28±0,15A	0,45±0,29A	0,45±0,29A	0,23±0,12A

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste T pareado para os valores antes e após instrumentação ($P < 0,05$). Letras Maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ao teste de Tukey para os diferentes sistemas e cavidades endodônticas de acesso para os valores de alteração absoluta ($P < 0,05$)

Tabela 8. Valores de circularidade antes e após instrumentação e alteração absoluta (Δ) para as diferentes cavidades endodônticas de acesso, sistema de instrumentação e terços radiculares.

Terço radicular	Cavidade de Acesso Convencional				Cavidade de Acesso Conservativa			
	PTU	R25	R25 Blue	EDM	PTU	R25	R25 Blue	EDM
Cervical								
Antes	0,79 $\pm$ 0,06a	0,75 $\pm$ 0,08a	0,71 $\pm$ 0,10a	0,67 $\pm$ 0,10a	0,78 $\pm$ 0,06a	0,73 $\pm$ 0,11a	0,70 $\pm$ 0,09a	0,73 $\pm$ 0,10a
Depois	0,89 $\pm$ 0,07b	0,84 $\pm$ 0,06b	0,82 $\pm$ 0,09b	0,81 $\pm$ 0,11b	0,86 $\pm$ 0,09b	0,88 $\pm$ 0,13b	0,82 $\pm$ 0,09b	0,84 $\pm$ 0,11b
Δ	0,09 $\pm$ 0,05A	0,09 $\pm$ 0,06A	0,11 $\pm$ 0,08A	0,14 $\pm$ 0,09A	0,10 $\pm$ 0,07A	0,15 $\pm$ 0,10A	0,12 $\pm$ 0,05A	0,11 $\pm$ 0,07A
Médio								
Antes	0,75 $\pm$ 0,08a	0,72 $\pm$ 0,06a	0,71 $\pm$ 0,17a	0,63 $\pm$ 0,09a	0,71 $\pm$ 0,15a	0,70 $\pm$ 0,23a	0,69 $\pm$ 0,15a	0,72 $\pm$ 0,19a
Depois	0,88 $\pm$ 0,09b	0,86 $\pm$ 0,19b	0,84 $\pm$ 0,14b	0,83 $\pm$ 0,16b	0,85 $\pm$ 0,12b	0,83 $\pm$ 0,29b	0,84 $\pm$ 0,17b	0,88 $\pm$ 0,15b
Δ	0,13 $\pm$ 0,06A	0,14 $\pm$ 0,06A	0,13 $\pm$ 0,07A	0,20 $\pm$ 0,07A	0,14 $\pm$ 0,07A	0,13 $\pm$ 0,12A	0,15 $\pm$ 0,08A	0,16 $\pm$ 0,09A
Apical								
Antes	0,61 $\pm$ 0,17a	0,64 $\pm$ 0,14a	0,65 $\pm$ 0,15a	0,60 $\pm$ 0,21a	0,66 $\pm$ 0,06a	0,63 $\pm$ 0,15a	0,64 $\pm$ 0,14a	0,65 $\pm$ 0,15a
Depois	0,86 $\pm$ 0,10b	0,81 $\pm$ 0,15b	0,86 $\pm$ 0,20b	0,79 $\pm$ 0,12b	0,79 $\pm$ 0,09b	0,86 $\pm$ 0,19b	0,81 $\pm$ 0,15b	0,86 $\pm$ 0,20b
Δ	0,24 $\pm$ 0,08A	0,17 $\pm$ 0,07A	0,21 $\pm$ 0,09A	0,18 $\pm$ 0,09A	0,13 $\pm$ 0,09A	0,23 $\pm$ 0,10A	0,17 $\pm$ 0,07A	0,21 $\pm$ 0,09A

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste T pareado para os valores antes e após instrumentação ($P < 0,05$). Letras Maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste de Tukey para os diferentes sistemas e cavidades endodônticas de acesso para os valores de alteração absoluta ($P < 0,05$)

Tabela 9. Valores de diâmetro maior antes e após instrumentação (mm) e alteração absoluta (Δ) para as diferentes cavidades endodônticas de acesso, sistema de instrumentação e terços radiculares.

Terço radicular	Cavidade de Acesso Convencional				Cavidade de Acesso Conservativa			
	PTU	R25	R25 Blue	EDM	PTU	R25	R25 Blue	EDM
Cervical								
Antes	0,85 $\pm$ 0,20a	0,86 $\pm$ 0,10a	0,91 $\pm$ 0,21a	1,07 $\pm$ 0,15a	0,96 $\pm$ 0,19a	1,02 $\pm$ 0,19a	1,00 $\pm$ 0,20a	0,92 $\pm$ 0,29a
Depois	0,91 $\pm$ 0,23a	0,96 $\pm$ 0,19a	0,93 $\pm$ 0,25a	1,10 $\pm$ 0,21a	1,01 $\pm$ 0,160	1,06 $\pm$ 0,22a	1,5 $\pm$ 0,22a	0,96 $\pm$ 0,23a
Δ	0,06 $\pm$ 0,05A	0,10 $\pm$ 0,08A	0,02 $\pm$ 0,03A	0,03 $\pm$ 0,4A	0,05 $\pm$ 0,04A	0,04 $\pm$ 0,03A	0,05 $\pm$ 0,5A	0,04 $\pm$ 0,03A
Médio								
Antes	0,45 $\pm$ 0,14a	0,48 $\pm$ 0,12a	0,41 $\pm$ 0,17a	0,49 $\pm$ 0,19a	0,53 $\pm$ 0,09a	0,63 $\pm$ 0,21a	0,50 $\pm$ 0,19a	0,48 $\pm$ 0,12a
Depois	0,63 $\pm$ 0,15b	0,66 $\pm$ 0,15b	0,62 $\pm$ 0,14b	0,69 $\pm$ 0,21b	0,73 $\pm$ 0,16b	0,82 $\pm$ 0,19b	0,70 $\pm$ 0,21b	0,65 $\pm$ 0,19b
Δ	0,18 $\pm$ 0,08A	0,19 $\pm$ 0,10A	0,22 $\pm$ 0,07A	0,20 $\pm$ 0,10A	0,19 $\pm$ 0,09A	0,19 $\pm$ 0,10A	0,21 $\pm$ 0,10A	0,17 $\pm$ 0,08A
Apical								
Antes	0,31 $\pm$ 0,10a	0,30 $\pm$ 0,19a	0,41 $\pm$ 0,17a	0,32 $\pm$ 0,011a	0,27 $\pm$ 0,08a	0,25 $\pm$ 0,10a	0,30 $\pm$ 0,11a	0,29 $\pm$ 0,08a
Depois	0,42 $\pm$ 0,13b	0,39 $\pm$ 0,25b	0,62 $\pm$ 0,14b	0,41 $\pm$ 0,15b	0,37 $\pm$ 0,12b	0,45 $\pm$ 0,16b	0,41 $\pm$ 0,12b	0,41 $\pm$ 0,12b
Δ	0,11 $\pm$ 0,04A	0,10 $\pm$ 0,16A	0,22 $\pm$ 0,07A	0,10 $\pm$ 0,05A	0,10 $\pm$ 0,06A	0,20 $\pm$ 0,11A	0,11 $\pm$ 0,05A	0,12 $\pm$ 0,06A

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste T pareado para os valores antes e após instrumentação ($P < 0,05$). Letras Maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste de Tukey para os diferentes sistemas e cavidades endodônticas de acesso para os valores de alteração absoluta ($P < 0,05$)

Tabela 10. Valores de diâmetro menor antes e após instrumentação (mm) e alteração absoluta (Δ) para as diferentes cavidades endodônticas de acesso, sistema de instrumentação e terços radiculares.

Terço radicular	Cavidade de Acesso Convencional				Cavidade de Acesso Conservativa			
	PTU	R25	R25 Blue	EDM	PTU	R25	R25 Blue	EDM
Cervical								
Antes	0,65±0,14a	0,70±0,25a	0,72±0,31a	0,76±0,19a	0,71±0,15a	0,74±0,27a	0,62±0,20a	0,72±0,31a
Depois	0,86±0,26b	0,87±0,29b	0,90±0,29b	0,93±0,35b	0,88±0,18b	0,98±0,30b	0,81±0,33b	0,90±0,29b
Δ	0,21±0,12A	0,17±0,09A	0,18±0,19A	0,17±0,10A	0,17±0,09A	0,25±0,11A	0,19±0,08A	0,18±0,19A
Médio								
Antes	0,33±0,10a	0,41±0,19a	0,33±0,10a	0,33±0,10a	0,46±0,09a	0,44±0,15a	0,38±0,14a	0,39±0,12a
Depois	0,59±0,14b	0,66±0,25b	0,59±0,14b	0,59±0,14b	0,61±0,19b	0,67±0,20b	0,60±0,21b	0,59±0,16b
Δ	0,26±0,11A	0,25±0,10A	0,26±0,11A	0,26±0,11A	0,15±0,10A	0,23±0,10A	0,22±0,11A	0,20±0,08A
Apical								
Antes	0,23±0,07a	0,22±0,08a	0,20±0,10a	0,21±0,11a	0,24±0,07a	0,23±0,08a	0,20±0,010a	0,22±0,11a
Depois	0,33±0,09b	0,34±0,15b	0,32±0,10b	0,35±0,12b	0,32±0,11b	0,39±0,17b	0,34±0,12b	0,35±0,15b
Δ	0,10±0,06A	0,12±0,07A	0,12±0,07A	0,14±0,08A	0,08±0,04A	0,16±0,10A	0,14±0,08A	0,13±0,08A

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste T pareado para os valores antes e após instrumentação ($P < 0,05$). Letras Maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas ao teste de Tukey para os diferentes sistemas e cavidades endodônticas de acesso para os valores de alteração absoluta ($P < 0,05$)

Os dados de volume (mm^3), área de superfície (mm^2) e SMI antes e após instrumentação, bem como o aumento (Δ) e porcentagem de aumento (%) para as cavidades endodônticas de acesso e sistemas de instrumentação estão apresentados nas Tabelas 11, 13 e 15, respectivamente. Os dados de volume (Tabelas 11 e 12) e área (Tabelas 13 e 14) apresentaram aumento após o preparo biomecânico para os diferentes sistemas de instrumentação independente da cavidade endodôntica de acesso avaliada ($P < 0,01$).

Tabela 11. Análise do volume (mm^3) dos canais antes e após uso de diferentes sistemas de instrumentação, alteração absoluta (Δ) e porcentagem de alteração (%) em cavidades endodônticas tradicionais e conservativas.

Cavidade Endodôntica de Acesso	Sistemas	Volume			
		Antes	Após	Δ	%
Convencional	PTU	3,5 $\pm$ 0,7a	4,7 $\pm$ 1,1b	1,2 $\pm$ 0,5 A	39,9 $\pm$ 19,2
	Reciproc	3,3 $\pm$ 1,1a	4,6 $\pm$ 0,7b	1,3 $\pm$ 0,7 A	32,9 $\pm$ 11,2
	Reciproc Blue	3,2 $\pm$ 1,0a	4,6 $\pm$ 1,3b	1,3 $\pm$ 0,4 A	39,9 $\pm$ 24,5
	Hyflex EDM	3,3 $\pm$ 0,7a	4,6 $\pm$ 0,9b	1,3 $\pm$ 0,5 A	39,9 $\pm$ 11,3
Conservativa	PTU	3,4 $\pm$ 1,0a	4,7 $\pm$ 1,1b	1,2 $\pm$ 0,6 A	39,2 $\pm$ 23,3
	Reciproc	3,2 $\pm$ 0,9a	4,3 $\pm$ 0,7b	1,0 $\pm$ 0,5 A	33,8 $\pm$ 18,0
	Reciproc Blue	3,2 $\pm$ 0,6a	4,4 $\pm$ 1,3b	1,1 $\pm$ 0,5 A	28,6 $\pm$ 21,3
	Hyflex EDM	3,3 $\pm$ 1,4a	4,5 $\pm$ 1,0b	1,1 $\pm$ 0,4 A	34,8 $\pm$ 22,7

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas entre os valores de volume antes e após instrumentação ao teste T pareado ($P < 0,01$). Letras MAIÚSCULAS diferentes indicam diferenças estatísticas entre os diferentes sistemas de instrumentação.

Tabela 12. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso e sistemas de instrumentação em relação aos dados de volume.

Fonte de Variação	dF	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P
Cavidade de Acesso	1	310,6	310,568	0,815	0,370
Sist. de instrumentação	3	106,5	35,511	0,093	0,964
Cavidade/S. de instrumentação	3	776,7	258,901	,680	0,567
Resíduos	152	27051,1	381,002		
Total	160	712538,2			

Tabela 13. Análise da área (mm²) dos canais radiculares após uso de diferentes sistemas, alteração absoluta (Δ) e porcentagem de alteração (%) em cavidades endodônticas tradicionais e conservativas.

Cavidade Endodôntica de Acesso	Sistemas	Volume			
		Antes	Após	Δ	%
Convencional	PTU	25,4 $\pm$ 3,3a	28,8 $\pm$ 4,3b	3,2 $\pm$ 1,4	17,5 $\pm$ 9,9
	Reciproc	24,9 $\pm$ 3,6a	29,3 $\pm$ 5,3b	5,6 $\pm$ 4,1	12,7 $\pm$ 5,4
	Reciproc Blue	23,7 $\pm$ 4,8a	28,7 $\pm$ 4,9b	4,4 $\pm$ 1,3	22,4 $\pm$ 17,6
	Hyflex EDM	23,1 $\pm$ 5,3a	27,6 $\pm$ 3,8b	4,2 $\pm$ 2,1	18,6 $\pm$ 5,9
Conservativa	PTU	23,3 $\pm$ 4,1a	26,6 $\pm$ 3,9b	3,2 $\pm$ 2,1	15,8 $\pm$ 13,5
	Reciproc	23,4 $\pm$ 4,2a	27,6 $\pm$ 4,3b	3,8 $\pm$ 2,2	14,0 $\pm$ 9,4
	Reciproc Blue	22,9 $\pm$ 5,8a	26,7 $\pm$ 5,7b	3,3 $\pm$ 2,6	17,5 $\pm$ 10,4
	Hyflex EDM	23,5 $\pm$ 4,5a	26,9 $\pm$ 4,4b	3,4 $\pm$ 2,5	12,3 $\pm$ 9,5

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas entre os valores de volume antes e após instrumentação ao teste T pareado ($P < 0,01$)

Tabela 14. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso e sistemas de instrumentação em relação aos dados de área.

Fonte de Variação	dF	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P
Cavidade de Acesso	1	156,1	156,1	1,378	0,244
Sist. de instrumentação	3	415,5	138,5	1,223	0,308
Cavidade/S. de instrumentação	3	162,1	54,0	0,477	0,699
Resíduos	152	8038,6	113,2		
Total	160	29653,9			

Os diferentes sistemas de instrumentação apresentaram em cavidades endodônticas convencional e conservativa valores similares de SMI antes e após o preparo biomecânico ($P > 0,05$) (Tabelas 15 e 16).

Tabela 15. Análise do SMI dos canais radiculares após uso de diferentes sistemas, alteração absoluta (Δ) e porcentagem de alteração (%) em cavidades endodônticas tradicionais e conservativas.

Cavidade Endodôntica de Acesso	Sistemas	SMI			
		Antes	Após	Δ	%
Convencional	PTU	2,9 $\pm$ 0,1a	2,9 $\pm$ 0,1a	-0,02 $\pm$ 0,23	-0,54 $\pm$ 7,61
	Reciproc	2,9 $\pm$ 0,2a	3,0 $\pm$ 0,1a	-0,16 $\pm$ 0,27	6,07 $\pm$ 10,05
	Reciproc Blue	2,8 $\pm$ 0,3a	2,8 $\pm$ 0,1a	-0,04 $\pm$ 0,31	-0,47 $\pm$ 11,85
	Hyflex EDM	3,0 $\pm$ 0,2a	3,0 $\pm$ 0,1a	-0,01 $\pm$ 0,11	-0,04 $\pm$ 3,80
Conservativa	PTU	2,9 $\pm$ 0,1a	2,9 $\pm$ 0,2a	0,01 $\pm$ 0,28	1,32 $\pm$ 3,60
	Reciproc	2,9 $\pm$ 0,3a	3,0 $\pm$ 0,1a	0,04 $\pm$ 0,11	4,83 $\pm$ 12,37
	Reciproc Blue	2,9 $\pm$ 0,5a	2,8 $\pm$ 0,3a	0,11 $\pm$ 0,31	5,87 $\pm$ 14,95
	Hyflex EDM	3,0 $\pm$ 0,3a	2,9 $\pm$ 0,1a	0,12 $\pm$ 0,34	1,43 $\pm$ 11,19

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas entre os valores de volume antes e após instrumentação ao teste T pareado ($P < 0,01$)

Tabela 16. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso e sistemas de instrumentação em relação aos dados de SMI.

Fonte de Variação	dF	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P
Cavidade de Acesso	1	81,9	81,9	0,795	0,376
Sistema de instrumentação	3	302,5	100,8	0,978	0,408
Cavidade/S. de instrumentação	3	129,8	43,3	0,420	0,739
Resíduos	152	7212,6	103,0		
Total	160	24682,4			

Para os dados de transporte do canal radicular a Análise de variância identificou diferenças estatisticamente significantes para os fatores cavidade endodôntica de acesso ($P < 0,0001$), sistema de instrumentação ($P = 0,0002$) e terços radiculares ($P < 0,0001$), bem como para as interações entre os fatores cavidade endodôntica de acesso e terço radicular ($P < 0,0001$) e sistema de instrumentação e terço radicular ($P < 0,0001$). Em relação às interações entre cavidade endodôntica de acesso e sistemas de instrumentação ($P = 0,7329$) e cavidade endodôntica de acesso, sistemas de instrumentação e terço radicular ($P = 0,1157$) não houve diferenças estatisticamente significantes (Tabela 17).

Tabela 17. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso, sistemas de instrumentação e terços radiculares em relação aos dados de transporte do canal radicular.

Fonte de Variação	G. L.	dF	F	p
Cavidade de Acesso	1	74,8	27,51	<0,0001
Sistema de instrumentação	3	74,8	7,46	0,0002
Terços	2	411	9,89	<0,0001
Acesso/ Sistema de instrumentação	3	74,8	0,43	0,7329
Acesso/ Terços	2	411	16,48	<0,0001
Sistema de instrumentação/ Terços	6	411	5,42	<0,0001
Acesso/ Sistema de instrumentação/ Terços	6	411	1,72	0,1157

Os sistemas de instrumentação avaliados promoveram maior centralização do canal radicular em cavidades endodônticas tradicionais quando comparadas a cavidades endodônticas conservativas ($P < 0,0001$) (Tabela 18).

Os instrumentos Hyflex EDM e Reciproc Blue apresentaram maior centralização do canal radicular quando comparados ao sistema Protaper Universal ($P=0,0001$ e $P=0,0046$, respectivamente), no entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas Hyflex EDM e Reciproc Blue ($P=0,7393$). Já o sistema Reciproc apresentou valores intermediários de centralização do canal radicular similares aos sistemas Hyflex EDM ($P=0,1436$), Reciproc Blue ($P=0,6812$) e Protaper Universal ($P=0,0879$) (Tabela 18).

Tabela 18. Médias e desvio padrão centralização do canal radicular para as cavidades endodônticas de acesso e sistemas de instrumentação.

Sistema de Instrumentação	Cavidade Endodôntica de Acesso		Média agrupada
	Convencional	Conservativa	
PTU	0,0577±0,0313	0,0721±0,0362	0,0649±0,0344 b
Reciproc	0,0440±0,0210	0,0653±0,0326	0,0547±0,0293 ab
Reciproc Blue	0,0421±0,0218	0,0600±0,0259	0,0496±0,0246 a
Hyflex EDM	0,0392±0,0182	0,0519±0,0206	0,0454±0,0206 a
Média agrupada	0,0450±0,0240 A	0,0623±0,3021 B	

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas nas colunas ao teste de Tukey ($p<0,05$)

Em relação aos terços radiculares, observou-se que os instrumentos avaliados promoveram maior centralização nos terços médio e apical quando comparados ao terço cervical ($P<0,01$), no entanto, não houve diferenças entre os terços médio e apical ($P=0,6091$) (Tabela 19).

Tabela 19. Médias e desvio padrão da centralização do canal radicular para os terços radiculares.

Terços radiculares	Média ± Desvio padrão	
Cervical	0,0596±0,0332	A
Médio	0,0519±0,0332	B
Apical	0,0495±0,0239	B

*Letras diferentes indicam diferença estatística ao teste de Tukey ($p<0,0001$).

Considerando a interação cavidade endodôntica de acesso e terços radiculares, as cavidades endodônticas tradicionais apresentaram maior centralização

nos terços cervical ($P<0,0001$) e médio ($P=0,005$) quando comparados a cavidades endodônticas conservativas, no entanto, não houve diferenças para o terço apical ($P=0,9099$) (Tabela 20).

Tabela 20. Médias e desvio padrão centralização do canal radicular para as cavidades endodônticas de acesso e terços radiculares

Terços	Cavidade Endodôntica de Acesso	
	Convencional	Conservativa
Cervical	0,0436±0,0235 Aa	0,0757±0,0339Bb
Médio	0,0437±0,0237 Aa	0,0599±0,0280 Ba
Apical	0,0476±0,0250Aa	0,0514±0,0228Aa

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística nas colunas ao teste de Tukey ($p<0,05$)

Considerando a interação sistemas de instrumentação e terços radiculares, os sistemas Reciproc, Reciproc Blue e Hyflex EDM apresentaram maior centralização no terço cervical ($P<0,0001$) quando comparados ao sistema Protaper Universal, no entanto, não houve diferenças entre os sistemas Reciproc, Reciproc Blue e Hyflex EDM ($P>0,05$). Não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os sistemas para o terço médio e apical ($P>0,05$) (Tabela 21).

Tabela 21. Médias e desvio padrão centralização do canal radicular para as cavidades endodônticas de acesso e sistemas de instrumentação

Terços Radiculares	Sistema de Instrumentação			
	PTU	Reciproc	Reciproc Blue	Hyflex EDM
Cervical	0,083±0,0407Bb	0,057±0,0258Aa	0,054±0,0303Aa	0,045±0,0207Aa
Médio	0,059±0,0284Aa	0,056±0,0342Aa	0,045±0,0220Aa	0,045±0,0183Aa
Apical	0,052±0,0249Aa	0,052±0,0278Aa	0,052±0,0311Aa	0,050±0,0238Aa

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas nas colunas ao teste de Tukey ($p<0,05$)

A Análise de variância evidenciou que os diferentes sistemas de instrumentação ($P=0,490$) e cavidades endodônticas de acesso ($P=0,085$) apresentaram valores similares de paredes não tocadas, no entanto, a interação dos fatores cavidade endodôntica de acesso e sistemas de instrumentação apresentou diferença estatisticamente significativa ($P=0,005$) (Tabela 22).

Tabela 22. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso e sistemas de instrumentação em relação aos dados de porcentagem de paredes dos canais radiculares não tocadas.

Fonte de Variação	dF	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P
Cavidade de Acesso	1	631,7	631,7	3,023	0,085
Sistema de instrumentação	3	509,4	169,8	0,812	0,490
Cavidade/Sist. de instrumentação	3	2863,5	954,5	4,567	0,005
Resíduos	152	22572,3	209,0		
Total	160	292805,3			

A cavidade endodôntica conservativa propiciou percentual de paredes tocadas similares quando comparada com a cavidade endodôntica convencional após preparo biomecânico com os sistemas Reciproc (P=0,268), Reciproc Blue (P=0,137) e Hyflex EDM (P=0,520), no entanto, para instrumentação com sistema Protaper Universal maiores valores de paredes não tocadas foram observadas em cavidades endodônticas conservativas (P<0,0001) (Tabela 23).

Tabela 23. Médias e desvio padrão do percentual de paredes não tocadas do canal radicular para as cavidades endodônticas de acesso e sistemas de instrumentação

Sistema de Instrumentação	Cavidade Endodôntica de Acesso		Média agrupada
	Convencional	Conservativa	
PTU	42,6±14,1 Aa	61,2±9,3Bb	48,6±15,9 a
Reciproc	50,9±11,9Aa	45,5±17,4Ab	48,6±14,5 a
Reciproc Blue	43,3±14,9Aa	48,9±16,0Ab	44,8±15,6 a
Hyflex EDM	51,2±16,0Aa	47,6±12,9Ab	49,9±14,8 a
Média agrupada	50,2±15,4A	46,3±14,8A	

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística nas colunas ao teste de Tukey (p<0,05)

Análise do Procedimento Restaurador

Inicialmente foi determinado os valores de percentual de volume para o material restaurador, espaços vazios e material obturador presentes na câmara pulpar. A partir desses dados, a Análise de Variância evidenciou que a cavidade endodôntica conservativa propiciou menor percentual de material restaurador comparado a cavidade endodôntica convencional, uma vez que na cavidade conservativa foi observada a presença de material obturador próximo a região de

cornos pulpaes e paredes vestibular e palatina não removido durante os procedimentos de obturação (Figura 6) ($P < 0,001$). Quando avaliado o material restaurador ($P = 0,663$) e a interação entre material restaurador e cavidade endodôntica de acesso foi observado diferença estatisticamente significativa ($P = 0,491$) (Tabelas 24 e 25).

Tabela 24. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso e material restaurador em relação aos dados de porcentagem de material restaurador

Fonte de Variação	dF	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P
Cavidade de Acesso	1	304,7	304,7	34,72	<0,001
Material Restaurador	2	62,4	31,2	3,56	0,663
Acesso/ Material Restaurador	2	28,5	14,3	1,62	0,491
Resíduos	30	263,3	8,8		
Total	36	2061,7			

Tabela 25. Médias e desvio padrão da porcentagem de material restaurador para as cavidades endodônticas de acesso e materiais restauradores

Material Restaurador	Cavidade Endodôntica de Acesso		Média agrupada
	Convencional	Conservativa	
Resina convencional	94,7 ± 2,2	79,0 ± 6,6	87,0 ± 9,2 a
Resina <i>bulk fill</i> regular	96,9 ± 1,0	77,0 ± 6,6	87,0 ± 11,3 a
Resina <i>bulk fill</i> fluida + convencional	97,4 ± 2,3	79,6 ± 5,8	88,5 ± 9,2 a
Média agrupada	96,3 ± 2,2 B	78,7 ± 6,1 A	

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística nas colunas ao teste de Tukey ($p < 0,05$)

Em relação aos resultados de porcentagem de espaços vazios na restauração a Análise de Variância identificou que a cavidade endodôntica conservativa apresentou maior porcentagem de espaços vazios quando comparada a cavidade endodôntica convencional ($P < 0,001$). Em relação ao material restaurador, cavidades restauradas com resina *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional apresentaram menor porcentagem de vazios quando comparadas a cavidades restauradas com resina convencional e resina *bulk fill* regular ($P < 0,05$), no entanto,

não houve diferença entre resina convencional e resina *bulk fill* regular ($P=0,860$) ($P=0,041$). (Tabelas 26 e 27).

Tabela 26. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso e material restaurador em relação aos dados de porcentagem de espaços vazios na restauração.

Fonte de Variação	dF	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P
Cavidade de Acesso	1	304,7	304,7	34,72	<0,001
Material Restaurador	2	62,4	31,2	3,56	0,041
Acesso/ Material Restaurador	2	28,5	14,3	1,62	0,214
Resíduos	30	263,3	8,8		
Total	36	2061,7			

Tabela 27. Médias e desvio padrão do percentual de espaços vazios para as cavidades endodônticas de acesso e sistemas de instrumentação

Material Restaurador	Cavidade Endodôntica de Acesso		Média agrupada
	Convencional	Conservativa	
Resina convencional	5,4±2,2	9,1±3,4	7,2±3,3 b
Resina <i>bulk fill</i> regular	3,1±1,0	11,2±5,2	7,1±5,5 b
Resina <i>bulk fill</i> fluida + convencional	1,6±1,1	7,0±2,6	4,4±3,5 a
Média agrupada	3,3±2,1 A	9,1±4,0 B	

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística nas linhas e letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística nas colunas ao teste de Tukey ($p<0,05$)

Qualitativamente pode-se observar a presença de vazios nas cavidades endodônticas tradicionais nas áreas de junção entre os incrementos de resina composta convencional e *bulk fill* regular e na interface dente/restauração, já para cavidades conservativas foram observados espaços vazios principalmente na área de cornos pulpaes vestibular e palatino e entre as camadas de material restaurador (Figura 6).

Figura 6. Imagens qualitativas da análise de material restaurador (cinza), espaços vazios (vermelho) e material obturador (azul) para cavidades endodônticas tradicionais restauradas com resina composta convencional (A) resina composta *bulk fill* regular (B) e associação de resina composta *bulk fill* fluida e resina composta convencional (C) e cavidades endodônticas conservativas restauradas com resina composta convencional (D), resina composta *bulk fill* regular (E) e associação de resina composta *bulk fill* fluida e resina composta convencional (F).

Em relação a resistência a fratura, a Análise de variância não evidenciou diferença estatística entre o grupo controle e demais grupos experimentais ($P > 0,05$), bem como para os fatores cavidades endodônticas de acesso ($P=0,678$), material restaurador ($P=0,528$) e interação dos fatores ($P=0,530$) (Tabelas 28 e 29).

Tabela 28. Médias e desvio padrão de resistência a fratura em Newtons (N) para as cavidades endodônticas de acesso e material restaurador.

Grupo	Resistência a fratura
Controle (Hígido)	833,7 ± 133,9 A
Cavidade convencional	760,3 ± 55,6 A
Cavidade convencional + Resina convencional	724,8 ± 125,3 A
Cavidade convencional+ Resina <i>bulk fill</i> regular	747,8 ± 120,1 A
Cavidade convencional + Resina <i>bulk fill</i> fluida e convencional	732,5 ± 155,9 A
Cavidade conservativa	708,4 ± 172,1 A
Cavidade conservativa + Resina convencional	724,6 ± 128,7 A
Cavidade conservativa + Resina <i>bulk fill</i> regular	823,1 ± 174,5 A
Cavidade conservativa + Resina <i>bulk fill</i> fluida e convencional	760,5 ± 135,7A

Tabela 29. Resultados da Análise de variância para a comparação entre cavidade endodôntica de acesso e material restaurador em relação aos dados de resistência a fratura.

Fonte de Variação	dF	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	P
Cavidade de Acesso	1	3308,6	3308,6	0,17	0,678
Material Restaurador	3	42676,9	14225,7	0,75	0,528
Acesso/ Material Restaurador	3	42509,1	14169,7	0,74	0,530
Resíduos	73	1391188,2	19057,4		
Total	80	46787606,0			

Os tipos de padrões de falha observados após o teste de resistência a fratura estão apresentados na Tabela 30. Os padrões de falha tipo I e tipo II foram os mais prevalentes para o grupo controle e grupos experimentais. O teste qui-quadrado não identificou diferenças estatísticas entre o grupo controle e cavidades endodônticas de acesso convencional ($P=0,432$) e cavidade endodôntica conservativa ($P=0,478$). O tipo de material restaurador não influenciou o padrão de falha observado ($P=0,117$).

Tabela 30. Padrão de falha observado para cavidades endodônticas de acesso e material restaurador

Grupo	Padrão de falha			
	I	II	III	IV
Controle (Hígido)	8	2	0	0
Cavidade convencional	6	1	1	2
Cavidade convencional + Resina convencional	7	0	1	2
Cavidade convencional + Resina <i>bulk fill</i> regular	5	5	0	0
Cavidade convencional + Resina <i>bulk fill</i> fluida e convencional	7	0	3	0
Cavidade conservativa	7	0	3	0
Cavidade conservativa + Resina convencional	7	3	0	0
Cavidade conservativa + Resina <i>bulk fill</i> regular	4	4	2	0
Cavidade conservativa + Resina <i>bulk fill</i> fluida e convencional	5	0	3	2

A análise pelo método de elementos finitos foi realizada qualitativamente por meio da comparação de imagens pelos critérios de von Mises e Tensão Máxima Principal. Para essa finalidade foi feita a análise de coerência do deslocamento dos modelos, sendo observada coerência no deslocamento tornando os modelos viáveis para análise (Figura 7).

Figura 7. Análise de coerência do modelo apresentando movimentação do elemento dental no alvéolo.

De maneira geral os modelos apresentaram maior concentração de tensões de von Mises na cúspide palatina quando comparada a vestibular, sendo essas tensões observadas em maior magnitude na região cervical. Foi observada ainda a concentração de tensões na região de sulco principal e superfície interna da raiz vestibular para cavidades convencionais e conservativas com diferentes materiais restauradores (Figura 8). O modelo de cavidade endodôntica convencional com material restaurador provisório apresentou padrão de tensões similar aos demais modelos, no entanto, foi observada grande concentração de tensões na cúspide palatina (Figura 8A).

Figura 8. Análise de tensões pelo critério de von Mises para a estrutura dental. (A) Dente hígido; (B) Cavidade endodôntica convencional com restauração provisória; (C) Cavidade endodôntica conservativa com restauração provisória; (D) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta convencional; (E) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (F) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional; (G) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta convencional; (H) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (I) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional.

Figura 9. Análise de tensões pelo critério de Tensão Máxima Principal para a estrutura dental. (A) Dente hígido; (B) Cavidade endodôntica convencional com restauração provisória; (C) Cavidade endodôntica conservativa com restauração provisória; (D) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta convencional; (E) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (F) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional; (G) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta convencional; (H) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (I) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional;

Em relação a Tensão Máxima Principal observou-se de maneira geral um padrão de distribuição de tensões similar entre o dente hígido e as diferentes condições experimentais (Figura 9). As maiores tensões foram observadas no centro do sulco principal com redução gradativa em direção as cristas marginais, sendo

essas tensões mais acentuadas nos dentes com cavidades endodônticas convencionais e conservativas quando comparado ao dente hígido (Figura 10). Em dentina as tensões observadas apresentaram uma menor magnitude, sendo observado maior concentração de tensões na dentina referente a cúspide pulpar (Figura 11). Vale ressaltar que assim como foi observado para as tensões de von Mises, a cavidade endodôntica convencional com material restaurador provisório apresentou maior concentração de tensões na região de cúspide palatina tanto em esmalte (Figura 9 e 10) como em dentina (Figura 11).

Figura 10. Análise de tensões pelo critério de Tensão Máxima Principal para o esmalte dental. (A) Dente hígido; (B) Cavidade endodôntica convencional com restauração provisória; (C) Cavidade endodôntica conservativa com restauração provisória; (D) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta convencional; (E) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (F) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional; (G) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta convencional; (H) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (I) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional.

Figura 11. Análise de tensões pelo critério de Tensão Máxima Principal para dentina coronária. (A) Dente hígido; (B) Cavidade endodôntica convencional com restauração provisória; (C) Cavidade endodôntica conservativa com restauração provisória; (D) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta convencional; (E) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (F) Cavidade endodôntica convencional restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional; (G) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta convencional; (H) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* regular; (I) Cavidade endodôntica conservativa restaurada com resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional.

***D**iscussão*

Avanços tecnológicos na Endodontia em relação à confecção de instrumentos de ligas de NiTi convencionais e tratadas termicamente, com diferentes geometrias, designs e conicidades, acionados em movimento rotatório, recíprocante e adaptativo (ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH ; SCHAFER, 2018), bem como a incorporação da microscopia operatória, que permite ampliação e iluminação do campo operatório (CARR ; MURGEL, 2010; KHALIGHINEJAD et al., 2017), possibilitaram a alteração dos conceitos de cavidade endodôntica de acesso com a proposta de preservação do máximo de estrutura dental, particularmente de dentina pericervical e do teto da câmara pulpar, sendo estas denominadas cavidades endodônticas conservativas (CLARK; KHADEMI, 2010a; CLARK; KHADEMI, 2010b).

A partir disso, estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar o impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo biomecânico (KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; NEELAKANTAN et al., 2017; ROVER et al., 2017; ALOVISI et al., 2018a; OZYUREK et al., 2018), bem como no procedimento restaurador (MOORE et al., 2016; CHLUP et al., 2017; PLOTINO et al., 2017; ROVER et al., 2017; OZYUREK et al., 2018; SILVA et al., 2018). Dessa maneira foi avaliado, no presente estudo, o impacto da cavidade endodôntica conservativa no preparo biomecânico com diferentes sistemas de instrumentação, bem como o efeito de diferentes materiais restauradores no comportamento biomecânico de pré-molares superiores submetidos ao tratamento endodôntico.

Para melhor entendimento das metodologias e análises realizadas quanto a preparo biomecânico e material restaurador, a discussão será realizada em duas partes que serão relacionadas nas considerações finais.

Avaliação do Preparo Biomecânico

No presente estudo a avaliação do preparo biomecânico foi realizado por micro-CT o que permitiu a análise bidimensional e tridimensional quantitativa e qualitativa dos efeitos do preparo biomecânico na anatomia do SCR (PETERS; BOESSLER ; PAQUE, 2010; YIN et al., 2010; PETERS ; PAQUE, 2011; VERSIANI; LEONI; STEIER; et al., 2013; KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; ROVER et al., 2017) de maneira não-invasiva, não-destrutiva e sequencial dos espécimes (VERSIANI; PÉCORA ; DE SOUSA-NETO, 2011; VERSIANI et al., 2013; KRISHAN et al., 2014; CROZETA et al., 2016), diferente dos métodos de cortes seriados, análises radiográficas, impressões com silicone e microscopia eletrônica de varredura (HULSMANN ; BERTZBACH, 1989; THOMPSON ; DUMMER, 2000; BAUMANN, 2004; PETERS, 2004; NAIR ; NAIR, 2007; PETERS; BOESSLER ; PAQUE, 2010) que são metodologia destrutivas que permitem a análise sequencial e tridimensional dos efeitos do preparo biomecânico na geometria do canal radicular (HULSMANN ; BERTZBACH, 1989; BERGMANS et al., 2001; ALENCAR; FIGUEIREDO ; ESTRELA, 2008).

Vale destacar que inicialmente foi realizada a padronização da amostra em relação aos dados volume, área de superfície e SMI obtidos do micro-CT com o intuito de eliminar vieses relacionados a anatomia (BURKLEIN et al., 2012) que podem influenciar diretamente nos resultados do preparo biomecânico do canal radicular (PETERS et al., 2001; GUTMANN ; GAO, 2012).

Os resultados da análise do preparo biomecânico mostraram que a cavidade endodôntica conservativa influenciou na centralização e percentual de paredes não tocadas, no entanto, os parâmetros bidimensionais de área, perímetro, circularidade, diâmetro menor, diâmetro maior e parâmetros tridimensionais de volume, área de

superfície e SMI foram similares para os dentes com cavidade endodôntica convencional e conservativa.

As cavidades endodônticas conservativas apresentaram maior transporte em relação as cavidades endodônticas convencionais, provavelmente em função das menores dimensões que não confere acesso em linha reta ao canal (CLARK; KHADEMI, 2010a; CLARK ; KHADEMI, 2010b; EATON et al., 2015; ALOVISI et al., 2018), alterando o ângulo de acesso dos instrumentos aos canais radiculares e aumentando o número de movimentos de entrada e retrocesso do instrumento necessário para o preparo biomecânico o que resulta em maior desvio do canal radicular (EATON et al., 2015; ALOVISI et al., 2018). A análise do transporte do canal radicular por terços radiculares reforça esta condição, uma vez que maior transporte foi observado no terço cervical e médio o que reflete diretamente a interferência ocasionada pela cavidade de acesso conservativa nessa região deslocando o preparo para a região de furca (ALOVISI et al., 2018). Os resultados do presente estudo estão de acordo com os dados observados por ALOVISI et al. (2018), onde foi observado maior transporte em raízes mesiais de molares inferiores com cavidade endodôntica conservativa.

Em relação aos sistemas de instrumentação, o Protaper Universal apresentou maior transporte quando comparados aos sistemas Reciproc e Hyflex EDM, sendo essa diferença mais acentuada em cavidades conservativas. O sistema Protaper Universal é produzido pela liga de NiTi convencional que apresenta três fases estruturais distintas (martensita, austenita e Fase R) que conferem ao instrumento as propriedades de superelasticidade e memória de forma (SHEN, et al., 2013). Na temperatura ambiente este instrumentos apresentam-se na fase austenítica, mas quando são submetidos a tensões durante instrumentação de canais curvos há

transformação para a fase martensítica, a qual confere superelasticidade ao instrumento. Quando há remoção das tensões sobre o instrumento ocorre o retorno à sua forma original devido a transformação reversa da fase martensítica em austenítica, propriedade essa conhecida como efeito de memória de forma (THOMPSON, 2000; SHEN, et al., 2013), o que confere ao Sistema Protaper maiores chances de transporte apical quando comparado com os sistemas Reciproc Blue e Hyflex EDM fabricados a partir de ligas de NiTi com memória controlada. Vale ressaltar ainda que o efeito de memória de forma apresentado pelos instrumentos Protaper Universal (THOMPSON, 2000; SHEN et al., 2013) associado a alteração do ângulo de acesso dos instrumentos aos canais radiculares e maior dificuldade durante o preparo promovido pela cavidade endodôntica conservativa (EATON et al., 2015; ALOVISI et al., 2018).

Já as ligas de NiTi com memória controlada apresentam-se predominantemente na fase martensítica sob condições clínicas (SHEN, et al., 2011; SHEN et al., 2013) o que confere aos instrumentos alta maleabilidade e absorção de energia (SHEN, et al., 2011; SHEN, et al., 2013) resultando em deformação plástica durante o preparo do canal radicular. Essas propriedades particulares do mecanismo de memória controlada aumentam a flexibilidade (TESTARELLI et al., 2011; GOO et al., 2017), resistência a fadiga cíclica (SHEN, et al., 2011; PETERS et al., 2012; TOPCUOGLU et al., 2016; GOO et al., 2017) e reduz a incidência de fratura do instrumento (PETERS et al., 2012; SHEN, et al., 2013), bem como o transporte apical de canais curvos (MARCELIANO-ALVES et al., 2015; PINHEIRO et al., 2017). Diante dessas características pode-se assumir que os instrumentos de memória controlada são os mais adequados para o preparo biomecânico em cavidades conservativas, uma vez que as propriedades de maleabilidade e ausência de memória de forma

(SHEN, et al., 2011; SHEN, et al., 2013) permitem que esses instrumentos sofram menor influência da alteração do ângulo de acesso dos instrumentos promovido pela cavidade endodôntica conservativa (EATON et al., 2015; ALOVISI et al., 2018b).

Quanto ao instrumento Reciproc, pode-se observar que esse apresentou resultados de transporte intermediários aos sistemas Hyflex EDM, Reciproc Blue e Protaper Universal, provavelmente devido a composição da liga de NiTi M-Wire, a qual apresenta fases austenítica, martensítica e Fase R estáveis sob condições clínicas (ALAPATI et al., 2009; YE ; GAO, 2012) que lhe confere maior resistência flexural (PEIXOTO et al., 2010), flexibilidade, resistência a fadiga cíclica (JOHNSON et al., 2008; KELL et al., 2009; AL-HADLAQ; ALJARBOU ; ALTHUMAIRY, 2010; MONTALVAO ; ALCADA, 2011), menor transporte apical e manutenção do comprimento de trabalho quando comparados aos sistemas de instrumentação produzidos a partir de ligas de NiTi convencionais (IQBAL et al., 2010; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH ; SCHAFER, 2018).

Em relação ao percentual de paredes não tocadas observou-se que o sistema de instrumentação Protaper Universal propiciou maior percentual de paredes não tocadas em cavidades conservativas. Esse resultado é reflexo diretamente da composição da liga de NiTi a qual esse instrumento é produzido associado a alteração do ângulo de acesso dos instrumentos ao canal radicular (ALOVISI et al., 2018), que além de resultar em maior transporte do canal radicular, aumentou o percentual de paredes não tocadas. Essa situação é crítica visto que maior percentual de paredes não tocadas indicam limpeza e modelagem dos canais radiculares deficientes que podem levar ao insucesso do tratamento endodôntico (SIQUEIRA et al., 2010). Mesmo avaliando diferentes grupos dentais (KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; ROVER et al., 2017; ALOVISI et al., 2018), os estudos mostram que a cavidade

endodôntica conservativa apresenta percentual similar de paredes não tocadas em comparação a cavidades tradicionais. No entanto, vale ressaltar que nesses estudos foram utilizados instrumentos rotatórios com memória controlada (MOORE et al., 2016; NEELAKANTAN et al., 2017), reciprocante com liga *M-Wire* (KRISHAN et al., 2014; ROVER et al., 2017) ou reciprocante com liga de memória controlada (ALOVISI et al., 2018), o que mostra uma concordância com o presente estudo e reforça que instrumentos de liga de NiTi convencional apresentam limitações para uso em cavidades conservativas.

A análise dos parâmetros bidimensionais e tridimensionais de volume e área mostraram que os instrumentos apresentaram valores semelhantes de aumento em cavidades conservativas e em cavidades tradicionais o que pode estar relacionado às características geométricas dos sistemas de instrumentação utilizados, visto que todos apresentam d0 igual a 25 e conicidade de 0.08 (WEST, 2006; UNAL et al., 2009; BURKLEIN et al., 2012; PEDULLA et al., 2013; PIRANI et al., 2016; DE-DEUS et al., 2017; GUNDOGAR ; OZYUREK, 2017). Já os dados de SMI não sofreram alteração após o preparo, o que mostra a manutenção da forma original do canal radicular pelos diferentes instrumentos independe da cavidade endodôntica de acesso, uma vez que o SMI envolve a mensuração da convexidade de superfície de um sólido e seus valores variam de 0 a 4, sendo que os valores 0, 3 e 4 correspondem, respectivamente, a um plano, a um cilindro e a uma esfera regulares (HILDEBRAND ; RUEGSEGGER, 1997). Estudos que avaliaram o efeito da cavidade conservativa em parâmetros bidimensionais e tridimensionais também observaram ausência de efeito da cavidade conservativa em molares superiores (ROVER et al., 2017) e inferiores (ALOVISI et al., 2018).

Avaliação do Material Restaurador

O comportamento biomecânico do material restaurador foi avaliado pelo teste de resistência a fratura associado a determinação do padrão de falha e análise de elementos finitos, sendo a micro-CT utilizada para verificação do volume e espaços vazios do material restaurador.

O teste de resistência a fratura possibilita analisar o comportamento do dente tratado endodonticamente em situações de aplicação de cargas pontuais e de alta intensidade determinando o conjunto restaurador mais frágil. Já o padrão de falha fundamental para determinar o prognóstico após a fratura do dente tratado endodonticamente (SILVA et al., 2012). Entretanto, o teste de resistência a fratura não fornece informações do comportamento biomecânico interno do complexo dente-restauração, sendo apropriada a análise complementar por meio do método de elementos finitos, que permite visualizar e quantificar as tensões geradas na estrutura quando cargas de baixa intensidade são aplicadas, prevendo os possíveis locais de início da falha (SOARES et al., 2008a; BRITO-JÚNIOR et al., 2014; PEREIRA et al., 2016), além de proporcionar a validação interna do estudo (PEREIRA et al., 2016). Já a micro-CT permitiu a avaliação quantitativa do volume e porcentagem de material restaurador, espaços vazios e material obturador na câmara pulpar e análise qualitativa da localização de espaços vazios e material obturador (DA SILVA et al., 2015; LAGOUVARDOS; NIKOLINAKOS ; OULIS, 2015; UZUN et al., 2016; ALMEIDA et al., 2017; SOARES et al., 2018).

Quanto a padronização da amostra, foram selecionados pré-molares superiores apresentando duas raízes com divisão no terço cervical e médio da raiz, sendo assim excluídos dentes com uma única raiz ou duas raízes fusionadas ou com divisão radicular no terço apical no intuito de eliminar o efeito da configuração radicular nos resultados de resistência a fratura e padrão de falha, visto que dentes pré-molares

superiores birradiculares apresentam maior concentração de tensões e deformação da estrutura comparado a dentes unirradiculares (SOARES et al., 2014).

Em relação aos resultados do teste de resistência a fratura e análise do padrão de falha não foram observadas diferenças significativas entre os grupos de cavidade endodôntica conservativa e convencional restaurados com os diferentes materiais. Esse achado pode ser explicado principalmente pela manutenção das cristas marginais que são as estruturas de reforço e conferem resistência ao pré-molar superior (REEH; MESSER ; DOUGLAS, 1989; STEELE ; JOHNSON, 1999; HABEKOST et al., 2007; SOARES et al., 2008; TAHA; ABDEL-SAMAD ; MAHMOUD, 2011; TAHA; PALAMARA ; MESSER, 2011; PEREIRA et al., 2013). No presente estudo foram utilizados pré-molares hígidos submetidos a cavidade de acesso convencional e conservativa com remoção total ou parcial do teto de 10,4% e 4,8% e manutenção de cristas marginais. Cavidades de acesso com remoção de teto sem envolvimento da crista não reduzem a resistência a fratura do dente tratado endodonticamente (REEH; MESSER ; DOUGLAS, 1989; STEELE ; JOHNSON, 1999; SOARES et al., 2008a). A análise de elementos finitos reflete essa situação, onde as diferentes cavidades endodônticas de acesso apresentaram concentração de tensões nas áreas de cristas marginais mesial e distal e menor concentração de tensões na região radicular. Já em relação ao padrão de falha todos os grupos experimentais apresentaram maior prevalência de fraturas favoráveis (Tipo I, II e III) semelhantes ao grupo controle, o que está diretamente relacionado a manutenção das cristas marginais e padrão de distribuição de tensões semelhantes entre os grupos avaliados (REEH; MESSER ; DOUGLAS, 1989; STEELE ; JOHNSON, 1999; HABEKOST et al., 2007; SOARES et al., 2008a; TAHA; PALAMARA ; MESSER, 2011).

Apesar da cavidade endodôntica convencional com restauração provisória não apresentar diferença estatística em relação ao dente hígido, foi observada nas imagens de elementos finitos maior concentração de tensões na cúspide palatina, o que não foi observado nos outros grupos. No entanto, quando avaliado os modelos com restaurações em resinas compostas o padrão de distribuição de tensões foi similar entre os diferentes modelos. Esses diferentes padrões de distribuição de tensões estão relacionados ao fato da resina composta associada a sistemas adesivos promovem o reforço interno da estrutura dental de dentes tratados endodonticamente resultando em aumento na resistência a fratura dental devido à redução de deflexão de cúspides (SOARES et al., 2008a; PRADEEP et al., 2013; PEREIRA et al., 2016). Por outro lado, a literatura apresenta resultados controversos em relação ao efeito da cavidade endodôntica conservativa na resistência a fratura do dente tratado endodonticamente (KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; CHLUP et al., 2017; PLOTINO et al., 2017; ROVER et al., 2017; OZYUREK et al., 2018). Em recente revisão sistemática (SILVA et al., 2018) não foram observadas evidências científicas que suportam a realização de cavidades endodônticas conservativas para o aumento da resistência a fratura dental, concordando assim com os resultados do presente estudo.

Apesar das cavidades endodônticas apresentarem valores similares de resistência a fratura, observou-se que cavidades endodônticas conservativas apresentam menor percentual de material restaurador comparado a cavidades endodônticas convencionais, uma vez que foi observado presença de material obturador na câmara pulpar e espaços vazios sem preenchimento de resina principalmente na área de cornos pulpares, o que pode ocasionar escurecimento da estrutura dental (IOANNIDIS et al., 2013; KRASTL et al., 2013; MEINCKE et al., 2013),

o que pode acarretar em danos estéticos. Esta situação pode ser extrapolada para casos de dentes com presença de polpa vital, visto que áreas com espaços vazios observadas no presente estudo seriam ocupadas por remanescentes de tecido pulpar, os quais se desintegram gradualmente e seus componentes sanguíneos podem penetrar nos túbulos dentinários causando descoloração da coroa dental (BROWN, 1965; FAUNCE, 1983; SETIEN; ROSHAN ; NELSON, 2008). Vale ressaltar ainda que nas cavidades conservativas foi observada a presença de espaços vazios no material obturador o que poderia acentuar o processo de escurecimento dental (PLOTINO et al., 2008).

Em relação ao tipo de material restaurador, não foram observadas diferenças entre os valores de resistência a fratura, no entanto, a associação de resina composta *bulk fill* fluida e resina composta convencional apresentou menor percentual de vazios em comparação ao uso de resina composta convencional e resina composta *bulk fill* regular independente da cavidade endodôntica de acesso avaliada. A menor presença de vazios utilizando resina *bulk fill* fluida é devido a baixa viscosidade do material e inserção de incrementos de 4 a 5 mm na cavidade, diferente dos materiais de alta viscosidade que necessitam de condensação na cavidade, o que pode gerar maior incorporação de vazios ao material restaurador (SOARES et al., 2017). A incorporação de vazios no material restaurador pode promover alterações nas propriedades do material pela redução da polimerização do material em volta das áreas dos vazios (ALSTER et al., 1992; VAN ENDE et al., 2015) aumentando as tensões nessa região (VAN ENDE et al., 2015) reduzindo a resistência coesiva do material e consequentemente o comportamento biomecânico da restauração (SOARES et al., 2017).

É importante ressaltar que as resinas compostas *bulk fill* fluida apresentam baixa dureza superficial e módulo de elasticidade o que impossibilita o seu uso como material restaurador único, sendo necessário a utilização de uma camada superficial de resina composta convencional sobre este material para conferir uma maior resistência a abrasão durante os esforços mastigatórios. Além disso, essa camada superficial de resina composta convencional visa propiciar estética as restaurações em resinas compostas *bulk fill* regular ou fluida, uma vez que estas apresentam alta translucidez o que lhe confere aspecto estético desfavorável em situações clínicas onde a estética é primordial (ILIE; BUCUTA ; DRAENERT, 2013; FURNESS et al., 2014; ROSATTO et al., 2015). Apesar do presente estudo não apresentar diferença na resistência a fratura entre resinas compostas convencional e *bulk fill*, estudos tem apontado que estes materiais promovem maior resistência a fratura em cavidades endodônticas convencional e conservativa de molares inferiores com perda de crista marginal (OZYUREK et al., 2018) e em cavidades MOD (ROSATTO et al., 2015).

Considerações Finais

Um dos principais aspectos relevantes da metodologia empregada neste estudo foi a possibilidade do uso dos mesmos espécimes para as etapas de avaliação do preparo biomecânico, análise do material restaurador e comportamento biomecânico dos dentes tratados endodonticamente. Essa situação é extremamente relevante visto a dificuldade de obtenção de dentes humanos e os aspectos éticos envolvendo sua utilização. Esta abordagem foi possível devido a utilização da micro-CT, um método não-invasivo e não-destrutivo que permitiu a análise bidimensional e tridimensional de forma sequencial dos efeitos do preparo biomecânico na anatomia do SCR e avaliação do volume e porcentagem de material restaurador, espaços

vazios e material obturador na câmara pulpar e análise qualitativa da localização de espaços vazios e material obturador. Além disso a micro-CT forneceu dados quantitativos dos canais radiculares e estrutura dental que possibilitou a aleatorização dos espécimes para as diferentes etapas do trabalho reduzindo assim o efeito da morfologia do canal radicular e estrutura dental nos resultados de preparo e comportamento biomecânico respectivamente.

Ainda em relação a aleatorização dos espécimes vale destacar a transição entre a fase de avaliação do preparo biomecânico e a fase de avaliação do material restaurador. Os espécimes foram aleatorizados inicialmente em dois grupos de cavidade endodôntica de acesso com subsequente aleatorização em subgrupos de quatro sistemas de instrumentação. Após a realização do acesso endodôntico e preparo biomecânico os dentes foram novamente escaneados para avaliar o remanescente de volume de estrutura coronária e radicular para nova aleatorização de acordo com material restaurador. Nesse momento foi desconsiderado o efeito do sistema de instrumentação, visto que os autores entendem que o sistema de instrumentação não possui efeito nos resultados de resistência a fratura e sim o remanescente de estrutura dental.

A Endodontia apresentou nas últimas décadas diversos avanços tecnológicos, principalmente em relação aos sistemas de instrumentos de ligas de NiTi (ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH ; SCHAFER, 2018), incorporação da microscopia operatória (CARR ; MURGEL, 2010; KHALIGHINEJAD et al., 2017) e introdução das cavidades endodônticas conservativas (CLARK ; KHADEMI, 2010a; CLARK,. ; KHADEMI, 2010b). Essas cavidades tem o intuito de preservar estrutura dental e conseqüentemente promover maior resistência a fratura sem influenciar negativamente no preparo do canal radicular (CLARK ; KHADEMI, 2010).

Em relação a resistência à fratura os resultados do presente estudo e da literatura tem demonstrado que a confecção de cavidades endodônticas conservativas em dentes hígidos, onde há a manutenção de cristas marginais (REEH; MESSER ; DOUGLAS, 1989; STEELE ; JOHNSON, 1999; SOARES et al., 2008; TAHA; PALAMARA ; MESSER, 2011; PEREIRA et al., 2013; MOORE et al., 2016; CHLUP et al., 2017; ROVER et al., 2017; SILVA et al., 2018) e mesmo em casos de perda de uma crista marginal (OZYUREK et al., 2018) não tem aumentado a resistência a fratura do dente tratado endodonticamente. Para o preparo os resultados são controversos, mas a partir dos resultados obtidos e presentes na literatura observa-se que cavidades endodônticas conservativas devem ser preparadas com instrumentos tratados termicamente em movimento rotatório ou recíprocante (KRISHAN et al., 2014; MOORE et al., 2016; NEELAKANTAN et al., 2017; ROVER et al., 2017) devido principalmente às suas propriedades de ausência de memória de forma e maleabilidade (SHEN et al., 2013) no intuito de promover preparos com menor alteração de sua forma quando comparado a cavidade endodôntica conservativa.

Conclusão

Baseada na metodologia proposta para o estudo e partindo dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- A cavidade endodôntica de acesso conservativa impactou negativamente na centralização do preparo biomecânico e percentual de paredes não tocadas. O uso de sistemas de instrumentação com tratamento térmico apresentaram um melhor comportamento em cavidades de acesso convencional e conservativa.
- O comportamento biomecânico, resistência a fratura, padrão de falha e distribuição de tensões, foi similar para cavidade endodôntica de acesso conservativa e convencional.
- As menores dimensões das cavidades conservativas dificultam a remoção de todo material obturador durante a obturação do canal radicular e possibilita maior percentual de espaços vazios no material restaurador.
- A utilização de resina composta *bulk fill* fluida associada a resina composta convencional reduz significativamente a presença de espaços vazios na obturação, no entanto o tipo de material restaurador não altera o comportamento biomecânico de pré-molares superiores tratados endodonticamente.

*R*eferências

- ALAPATI, S. B.; BRANTLEY, W. A.; IJIMA, M.; CLARK, W. A.; KOVARIK, L.; BUIE, C.; LIU, J.; BEN JOHNSON, W. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. **J Endod**, v. 35, n. 11, p. 1589-1593, 2009.
- ALCALDE, M. P.; DUARTE, M. A. H.; BRAMANTE, C. M.; DE VASCONSELOS, B. C.; TANOMARU-FILHO, M.; GUERREIRO-TANOMARU, J. M.; PINTO, J. C.; SO, M. V. R.; VIVAN, R. R. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. **Clin Oral Investig**. v., 2017.
- ALENCAR, A. H. G.; FIGUEIREDO, A. P.; ESTRELA, C. Microtomografia computadorizada na avaliação do preparo do canal radicular: análise crítica. **Revista Odontológica do Brasil Central**, v. 17, n. 44, p. 159-165, 2008.
- AL-HADLAQ, S. M.; ALJARBOU, F. A.; ALTHUMAIRY, R. I. Evaluation of cyclic flexural fatigue of M-wire nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 36, n. 2, p. 305-307, 2010.
- ALMEIDA, L. J.; PENHA, K. J. S.; SOUZA, A. F.; LULA, E. C. O.; MAGALHAES, F. C.; LIMA, D. M.; FIROOZMAND, L. M. Is there correlation between polymerization shrinkage, gap formation, and void in bulk fill composites? A muCT study. **Braz Oral Res**, v. 31, p. e100, 2017.
- ALOMARI, Q. D.; REINHARDT, J. W.; BOYER, D. B. Effect of liners on cusp deflection and gap formation in composite restorations. **Oper Dent**. v. 26, n. 4, p. 406-411, 2001.
- ALOVISI, M.; PASQUALINI, D.; MUSSO, E.; BOBBIO, E.; GIULIANO, C.; MANCINO, D.; SCOTTI, N.; BERUTTI, E. Influence of Contracted Endodontic Access on Root Canal Geometry: An In Vitro Study. **J Endod**, v. 44, n. 4, p. 614-620, 2018
- ALSTER, D.; FEILZER, A. J.; DE GEE, A. J.; MOL, A.; DAVIDSON, C. L. The dependence of shrinkage stress reduction on porosity concentration in thin resin layers. **Journal of Dental Research**, v. 71, n. 9, p. 1619-1622, 1992.
- BAUMANN, M. A. Nickel-titanium: options and challenges. **Dent Clin North Am**, v. 48, n. 1, p. 55-67, 2004.
- BERGMANS, L.; VAN CLEYNENBREUGEL, J.; BEULLENS, M.; WEVERS, M.; VAN MEERBEEK, B.; LAMBRECHTS, P. Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. **Int Endod J**, v. 36, n. 4, p. 288-295, 2003.
- BICALHO, A. A.; PEREIRA, R. D.; ZANATTA, R. F.; FRANCO, S. D.; TANTBIROJN, D.; VERSLUIS, A.; SOARES, C. J. Incremental filling technique and composite material-part I: cuspal deformation, bond strength, and physical properties. **Oper Dent**. v. 39, n. 2, p. E71-82, 2014.
- BICALHO, A. A.; VALDIVIA, A. D.; BARRETO, B. C.; TANTBIROJN, D.; VERSLUIS, A.; SOARES, C. J. Incremental filling technique and composite material-part II: shrinkage and shrinkage stresses. **Oper Dent**. v. 39, n. 2, p. E83-92, 2014.
- BRITO-JÚNIOR, M.; PEREIRA, R. D.; VERÍSSIMO, C.; SOARES, C. J.; FARIA-E-SILVA, A. L.; CAMILO, C. C.; SOUSA-NETO, M. D. Fracture resistance and stress

distribution of simulated immature teeth after apexification with mineral trioxide aggregate. **Int Endod J**, v. 47, n. 10, p. 958-966, 2014.

BROWN, G. Factors Influencing Successful Bleaching of the Discolored Root-Filled Tooth. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 20, p. 238-244, 1965.

BURKLEIN, S.; BENTEN, S.; SCHAFER, E. Shaping ability of different single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. **Int Endod J**, v. 46, n. 6, p. 590-597, 2013.

BURKLEIN, S.; HINSCHITZA, K.; DAMMASCHKE, T.; SCHAFER, E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. **Int Endod J**, v. 45, n. 5, p. 449-461, 2012.

BURKLEIN, S.; HINSCHITZA, K.; DAMMASCHKE, T.; SCHAFER, E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. **Int Endod J**, v. 45, n. 5, p. 449-461, 2012.

CARR, G. B.; MURGEL, C. A. The use of the operating microscope in endodontics. **Dent Clin North Am**, v. 54, n. 2, p. 191-214, 2010.

CHLUP, Z.; ZIZKA, R.; KANIA, J.; PRIBYL, M. Fracture behaviour of teeth with conventional and mini-invasive access cavity designs. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 37, n. 14, p. 4423-4429, 2017.

CLARK, D.; KHADEMI, J. A. Case studies in modern molar endodontic access and directed dentin conservation. **Dent Clin North Am**, v. 54, n. 2, p. 275-289, 2010.

CLARK, D.; KHADEMI, J. Modern molar endodontic access and directed dentin conservation. **Dent Clin North Am**, v. 54, n. 2, p. 249-273, 2010.

CRAIG, R. G.; FARAH, J. W.; POWERS, J. M. Modulus of elasticity and strength properties of dental cements. **J Am Dent Assoc**, v. 92, n. 3, p. 588-591, 1976.

CROZETA, B. M.; SILVA-SOUSA, Y. T.; LEONI, G. B.; MAZZI-CHAVES, J. F.; FANTINATO, T.; BARATTO-FILHO, F.; SOUSA-NETO, M. D. Micro-Computed Tomography Study of Filling Material Removal from Oval-shaped Canals by Using Rotary, Reciprocating, and Adaptive Motion Systems. **J Endod**, v. 42, n. 5, p. 793-797, 2016.

DA SILVA, N. R.; AGUIAR, G. C.; RODRIGUES MDE, P.; BICALHO, A. A.; SOARES, P. B.; VERISSIMO, C.; SOARES, C. J. Effect of Resin Cement Porosity on Retention of Glass-Fiber Posts to Root Dentin: An Experimental and Finite Element Analysis. **Braz Dent J**, v. 26, n. 6, p. 630-636, 2015.

DE-DEUS, G.; SILVA, E. J.; VIEIRA, V. T.; BELLADONNA, F. G.; ELIAS, C. N.; PLOTINO, G.; GRANDE, N. M. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. **J Endod**, v. 43, n. 3, p. 462-466, 2017.

DO, T.; CHURCH, B.; VERISSIMO, C.; HACKMYER, S. P.; TANTBIROJN, D.; SIMON, J. F.; VERSLUIS, A. Cuspal flexure, depth-of-cure, and bond integrity of bulk-fill composites. **Pediatr Dent**. v. 36, n. 7, p. 468-473, 2014.

EATON, J. A.; CLEMENT, D. J.; LLOYD, A.; MARCHESAN, M. A. Micro-Computed Tomographic Evaluation of the Influence of Root Canal System Landmarks on Access Outline Forms and Canal Curvatures in Mandibular Molars. **J Endod**, v. 41, n. 11, p. 1888-1891, 2015.

ERSOZ, E. Evaluation of stresses caused by dentin pin with finite elements stress analysis method. **J Oral Rehabil**, v. 27, n. 9, p. 769-773, 2000. FAUNCE, F. Management of discolored teeth. **Dent Clin North Am**, v. 27, n. 4, p. 657-670, 1983.

FERRACANE, J. L.; HILTON, T. J. Polymerization stress--is it clinically meaningful? **Dent Mater**. v. 32, n. 1, p. 1-10, 2016.

FERRACANE, J. L.; MITCHEM, J. C. Relationship between composite contraction stress and leakage in Class V cavities. **Am J Dent**. v. 16, n. 4, p. 239-243, 2003.

FIFE, D.; GAMBARINI, G.; BRITTO LR, L. Cyclic fatigue testing of ProTaper NiTi rotary instruments after clinical use. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**. v. 97, n. 2, p. 251-256, 2004.

FLURY, S.; HAYOZ, S.; PEUTZFELDT, A.; HUSLER, J.; LUSSI, A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? **Dent Mater**. v. 28, n. 5, p. 521-528, 2012.

FONSECA, R. B.; CORRER-SOBRINHO, L.; FERNANDES-NETO, A. J.; QUAGLIATTO, P. S.; SOARES, C. J. The influence of the cavity preparation design on marginal accuracy of laboratory-processed resin composite restorations. **Clin Oral Investig**, v. 12, n. 1, p. 53-59, 2008.

FURNESS, A.; TADROS, M. Y.; LOONEY, S. W.; RUEGGEBERG, F. A. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. **J Dent**, v. 42, n. 4, p. 439-449, 2014.

GLOSSEN, C. R.; HALLER, R. H.; DOVE, S. B.; DEL RIO, C. E. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. **J Endod**. v. 21, n. 3, p. 146-151, 1995.

GOO, H. J.; KWAK, S. W.; HA, J. H.; PEDULLA, E.; KIM, H. C. Mechanical Properties of Various Heat-treated Nickel-titanium Rotary Instruments. **J Endod**, v. 43, n. 11, p. 1872-1877, 2017.

GUIMARAES, L. S.; GOMES, C. C.; MARCELIANO-ALVES, M. F.; CUNHA, R. S.; PROVENZANO, J. C.; SIQUEIRA, J. F. Preparation of Oval-shaped Canals with TRUShape and Reciproc Systems: A Micro-Computed Tomography Study Using Contralateral Premolars. **J Endod**. v. 43, n. 6, p. 1018-1022, 2017.

GUNDOGAR, M.; OZYUREK, T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. **J Endod**, v. 43, n. 7, p. 1192-1196, 2017.

GUTMANN, J. L.; GAO, Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. **Int Endod J**, v. 45, n. 2, p. 113-128, 2012.

HABEKOST, L. V.; CAMACHO, G. B.; AZEVEDO, E. C.; DEMARCO, F. F. Fracture resistance of thermal cycled and endodontically treated premolars with adhesive restorations. **J Prosthet Dent**, v. 98, n. 3, p. 186-192, 2007.

HILDEBRAND, T.; RUEGSEGG, P. Quantification of Bone Microarchitecture with the Structure Model Index. **Comput Methods Biomech Biomed Engin**, v. 1, n. 1, p. 15-23, 1997.

HULSMANN, M.; BERTZBACH, F. The Preparation of Curved Root Canals Using Hand Instruments and Mechanical Aids. **Dtsch Zahnarztl Z**, v. 44, n. 6, p. 448-451, 1989.

ILIE, N.; BUCUTA, S.; DRAENERT, M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. **Oper Dent**, v. 38, n. 6, p. 618-625, 2013.

ILIE, N.; BUCUTA, S.; DRAENERT, M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. **Oper Dent**, v. 38, n. 6, p. 618-625, 2013.

INGLE, J. I. *Endodontics*. 1965.

IOANNIDIS, K.; MISTAKIDIS, I.; BELTES, P.; KARAGIANNIS, V. Spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by MTA- and ZnOE-based sealers. **J Appl Oral Sci**, v. 21, n. 2, p. 138-144, 2013.

IQBAL, M. K.; FLORATOS, S.; HSU, Y. K.; KARABUCAK, B. An in vitro comparison of Profile GT and GTX nickel-titanium rotary instruments in apical transportation and length control in mandibular molar. **J Endod**, v. 36, n. 2, p. 302-304, 2010.

IQBAL, M. K.; KOHLI, M. R.; KIM, J. S. A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: a PennEndo database study. **J Endod**, v. 32, n. 11, p. 1048-1052, 2006.

JOHNSON, E.; LLOYD, A.; KUTTLER, S.; NAMEROW, K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. **J Endod**, v. 34, n. 11, p. 1406-1409, 2008.

KELES, A.; ALCIN, H.; KAMALAK, A.; VERSIANI, M. A. Micro-CT evaluation of root filling quality in oval-shaped canals. **Int Endod J**, v. 47, n. 12, p. 1177-1184, 2014.

KELL, T.; AZARPAZHOOH, A.; PETERS, O. A.; EL-MOWAFY, O.; TOMPSON, B.; BASRANI, B. Torsional Profiles of New and Used 20/.06 GT Series X and GT Rotary Endodontic Instruments. **J Endod**, v. 35, n. 9, p. 1278-1281, 2009.

KESKIN, C.; INAN, U.; DEMIRAL, M.; KELES, A. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue, Reciproc, and WaveOne Gold Reciprocating Instruments. **J Endod**, v. 43, n. 8, p. 1360-1363, 2017.

KHALIGHINEJAD, N.; AMINOSHARIAE, A.; KULILD, J. C.; WILLIAMS, K. A.; WANG, J.; MICKEL, A. The Effect of the Dental Operating Microscope on the Outcome of Nonsurgical Root Canal Treatment: A Retrospective Case-control Study. **J Endod**, v. 43, n. 5, p. 728-732, 2017.

KIEFNER, P.; BAN, M.; DE-DEUS, G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? **Int Endod J**. v. 47, n. 5, p. 430-436, 2014.

KIM, R. J.; KIM, Y. J.; CHOI, N. S.; LEE, I. B. Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites. **J Dent**. v. 43, n. 4, p. 430-439, 2015.

KISHEN, A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. **Endod Top**. v. 13, n. 1, p. 57 - 83, 2006.

KRASTL, G.; ALLGAYER, N.; LENHERR, P.; FILIPPI, A.; TANEJA, P.; WEIGER, R. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a literature review. **Dent Traumatol**, v. 29, n. 1, p. 2-7, 2013.

KRISHAN, R.; PAQUE, F.; OSSAREH, A.; KISHEN, A.; DAO, T.; FRIEDMAN, S. Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars. **J Endod**, v. 40, n. 8, p. 1160-1166, 2014.

LAGOUVARDOS, P.; NIKOLINAKOS, N.; OULIS, C. Volume fraction and location of voids and gaps in ultraconservative restorations by X-ray computed microtomography. **Dent Res J (Isfahan)**, v. 12, n. 6, p. 520-527, 2015.

LI, X.; PONGPRUEKSA, P.; VAN MEERBEEK, B.; DE MUNCK, J. Curing profile of bulk-fill resin-based composites. **J Dent**. v. 43, n. 6, p. 664-672, 2015.

MANNAN, G.; SMALLWOOD, E. R.; GULABIVALA, K. Effect of access cavity location and design on degree and distribution of instrumented root canal surface in maxillary anterior teeth. **Int Endod J**. v. 34, n. 3, p. 176-183, 2001.

MARCELIANO-ALVES, M. F.; SOUSA-NETO, M. D.; FIDEL, S. R.; STEIER, L.; ROBINSON, J. P.; PECORA, J. D.; VERSIANI, M. A. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. **Int Endod J**, v. 48, n. 12, p. 1129-1136, 2015.

MEINCKE, D. K.; PRADO, M.; GOMES, B. P.; BONA, A. D.; SOUSA, E. L. Effect of endodontic sealers on tooth color. **J Dent**, v. 41 Suppl 3, p. e93-96, 2013.

MONTALVAO, D.; ALCADA, F. S. Numeric comparison of the static mechanical behavior between ProFile GT and ProFile GT series X rotary nickel-titanium files. **J Endod**, v. 37, n. 8, p. 1158-1161, 2011.

MOORE, B.; VERDELIS, K.; KISHEN, A.; DAO, T.; FRIEDMAN, S. Impacts of Contracted Endodontic Cavities on Instrumentation Efficacy and Biomechanical Responses in Maxillary Molars. **J Endod**, v. 42, n. 12, p. 1779-1783, 2016.

NAIR, M. K.; NAIR, U. P. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. **J Endod**, v. 33, n. 1, p. 1-6, 2007.

NEELAKANTAN, P.; KHAN, K.; HEI NG, G. P.; YIP, C. Y.; ZHANG, C.; PAN CHEUNG, G. S. Does the Orifice-directed Dentin Conservation Access Design Debride Pulp Chamber and Mesial Root Canal Systems of Mandibular Molars Similar to a Traditional Access Design?. **J Endod**, 2017.

OZYUREK, T.; ULKER, O.; DEMIRYUREK, E. O.; YILMAZ, F. The Effects of Endodontic Access Cavity Preparation Design on the Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth: Traditional Versus Conservative Preparation. **J Endod**, 2018.

PATEL, S.; RHODES, J. A practical guide to endodontic access cavity preparation in molar teeth. **Br Dent J**. v. 203, n. 3, p. 133-140, 2007.

PEDULLA, E.; GRANDE, N. M.; PLOTINO, G.; GAMBARINI, G.; RAPISARDA, E. Influence of Continuous or Reciprocating Motion on Cyclic Fatigue Resistance of 4 Different Nickel-Titanium Rotary Instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 258-261, 2013.

PEDULLA, E.; LO SAVIO, F.; BONINELLI, S.; PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; LA ROSA, G.; RAPISARDA, E. Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. **J Endod**. v. 42, n. 1, p. 156-159, 2016.

PEIXOTO, I. F. C.; PEREIRA, E. S.; DA SILVA, J. G.; VIANA, A. C.; BUONO, V. T.; BAHIA, M. G. Flexural fatigue and torsional resistance of ProFile GT and ProFile GT series X instruments. **J Endod**, v. 36, n. 4, p. 741-744, 2010.

PEREIRA, J. R.; MCDONALD, A.; PETRIE, A.; KNOWLES, J. C. Effect of cavity design on tooth surface strain. **J Prosthet Dent**, v. 110, n. 5, p. 369-375, 2013.

PEREIRA, R.; BICALHO, A. A.; FRANCO, S. D.; TANTBIROJN, D.; VERSLUIS, A.; SOARES, C. J. Effect of Restorative Protocol on Cuspal Strain and Residual Stress in Endodontically Treated Molars. **Oper Dent**, v. 41, n. 1, p. 23-33, 2016.

PETERS, O. A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. **J Endod**, v. 30, n. 8, p. 559-567, 2004.

PETERS, O. A.; BOESSLER, C.; PAQUE, F. Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time. **J Endod**, v. 36, n. 6, p. 1068-1072, 2010.

PETERS, O. A.; GLUSKIN, A. K.; WEISS, R. A.; HAN, J. T. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel-titanium rotary instruments. **Int Endod J**, v. 45, n. 11, p. 1027-1034, 2012.

PETERS, O. A.; LAIB, A.; GOHRING, T. N.; BARBAKOW, F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. **J Endod**, v. 27, n. 1, p. 1-6, 2001.

PETERS, O. A.; PAQUE, F. Root canal preparation of maxillary molars with the self-adjusting file: a micro-computed tomography study. **J Endod**, v. 37, n. 1, p. 53-57, 2011.

PINHEIRO, S. R.; ALCALDE, M. P.; VIVACQUA-GOMES, N.; BRAMANTE, C. M.; VIVAN, R. R.; DUARTE, M. A. H.; VASCONCELOS, B. C. Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. **Int Endod J**, 2017.

PIRANI, C.; IACONO, F.; GENERALI, L.; SASSATELLI, P.; NUCCI, C.; LUSVARGHI, L.; GANDOLFI, M. G.; PRATI, C. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. **Int Endod J**, v. 49, n. 5, p. 483-493, 2016.

PLOTINO, G.; BUONO, L.; GRANDE, N. M.; PAMEIJER, C. H.; SOMMA, F. Nonvital tooth bleaching: a review of the literature and clinical procedures. **J Endod**, v. 34, n. 4, p. 394-407, 2008.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; ISUFI, A.; IOPPOLO, P.; PEDULLA, E.; BEDINI, R.; GAMBARINI, G.; TESTARELLI, L. Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth with Different Access Cavity Designs. **J Endod**, v. 43, n. 6, p. 995-1000, 2017.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; PORCIANI, P. F. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. **Int Endod J**, v. 48, n. 2, p. 199-205, 2015.

PRADEEP, P.; KUMAR, V. S.; BANTWAL, S. R.; GULATI, G. S. Fracture strength of endodontically treated premolars: An In-vitro evaluation. **J Int Oral Health**, v. 5, n. 6, p. 9-17, 2013.

REEH, E. S.; MESSER, H. H.; DOUGLAS, W. H. Reduction in Tooth Stiffness as a Result of Endodontic and Restorative Procedures. **J Endod**, v. 15, n. 11, p. 512-516, 1989.

ROSATTO, C. M.; BICALHO, A. A.; VERISSIMO, C.; BRAGANCA, G. F.; RODRIGUES, M. P.; TANTBIROJN, D.; VERSLUIS, A.; SOARES, C. J. Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique. **J Dent**, v. 43, n. 12, p. 1519-1528, 2015.

ROVER, G.; BELLADONNA, F. G.; BORTOLUZZI, E. A.; DE-DEUS, G.; SILVA, E.; TEIXEIRA, C. S. Influence of Access Cavity Design on Root Canal Detection, Instrumentation Efficacy, and Fracture Resistance Assessed in Maxillary Molars. **J Endod**, v. 43, n. 10, p. 1657-1662, 2017.

SCHLIEBE, L. R. S. O.; LOURENCO BRAGA, S. S.; DA SILVA PEREIRA, R. A.; BICALHO, A. A.; VERISSIMO, C.; NOVAIS, V. R.; VERSLUIS, A.; SOARES, C. J. The new generation of conventional and bulk-fill composites do not reduce the shrinkage stress in endodontically-treated molars. **Am J Dent**, v. 29, n. 6, p. 333-338, 2016.

SETIEN, V. J.; ROSHAN, S.; NELSON, P. W. Clinical management of discolored teeth. **Gen Dent**, v. 56, n. 3, p. 294-300; quiz 301-294, 2008.

SHEN, Y.; QIAN, W.; ABTIN, H.; GAO, Y.; HAAPASALO, M. Fatigue Testing of Controlled Memory Wire Nickel-Titanium Rotary Instruments. **J Endod**, v. 37, n. 7, p. 997-1001, 2011.

SHEN, Y.; ZHOU, H. M.; ZHENG, Y. F.; PENG, B.; HAAPASALO, M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 163-172, 2013.

SHORT, J. A.; MORGAN, L. A.; BAUMGARTNER, J. C. A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. **J Endod**, v. 23, n. 8, p. 503-507, 1997.

SILVA, E.; ROVER, G.; BELLADONNA, F. G.; DE-DEUS, G.; DA SILVEIRA TEIXEIRA, C.; DA SILVA FIDALGO, T. K. Impact of contracted endodontic cavities on fracture resistance of endodontically treated teeth: a systematic review of in vitro studies. **Clin Oral Investig**, v. 22, n. 1, p. 109-118, 2018.

SILVA, G. R.; SILVA, N. R.; SOARES, P. V.; COSTA, A. R.; FERNANDES-NETO, A. J.; SOARES, C. J. Influence of different load application devices on fracture resistance of restored premolars. **Braz Dent J**, v. 23, n. 5, p. 484-489, 2012.

SIQUEIRA, J. F.; ALVES, F. R. F.; ALMEIDA, B. M.; DE OLIVEIRA, J. C. M.; ROCAS, I. N. Ability of Chemomechanical Preparation with Either Rotary Instruments or Self-adjusting File to Disinfect Oval-shaped Root Canals. **J Endod**, v. 36, n. 11, p. 1860-1865, 2010.

SOARES, C. J.; FERREIRA, M. S.; BICALHO, A. A.; DE PAULA RODRIGUES, M.; BRAGA, S.; VERSLUIS, A. Effect of Light Activation of Pulp-Capping Materials and Resin Composite on Dentin Deformation and the Pulp Temperature Change. **Oper Dent**, v. 43, n. 1, p. 71-80, 2018

SOARES, C. J.; ROSATTO, C.; CARVALHO, V. F.; BICALHO, A. A.; HENRIQUES, J.; FARIA, E. S. A. L. Radiopacity and Porosity of Bulk-fill and Conventional Composite Posterior Restorations-Digital X-ray Analysis. **Oper Dent**, v. 42, n. 6, p. 616-625, 2017.

SOARES, P. V.; SANTOS-FILHO, P. C. F.; QUEIROZ, E. C.; ARAUJO, T. C.; CAMPOS, R. E.; ARAUJO, C. A.; SOARES, C. J. Fracture resistance and stress distribution in endodontically treated maxillary premolars restored with composite resin. **J Prosthodont**, v. 17, n. 2, p. 114-119, 2008b.

SOARES, P. V.; SANTOS-FILHO, P. C.; GOMIDE, H. A.; ARAUJO, C. A.; MARTINS, L. R.; SOARES, C. J. Influence of restorative technique on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary premolars. Part II: strain measurement and stress distribution. **J Prosthet Dent**, v. 99, n. 2, p. 114-122, 2008a.

SOARES, P. V.; SOUZA, L. V.; VERISSIMO, C.; ZEOLA, L. F.; PEREIRA, A. G.; SANTOS-FILHO, P. C.; FERNANDES-NETO, A. J. Effect of root morphology on biomechanical behaviour of premolars associated with abfraction lesions and different loading types. **J Oral Rehabil**, v. 41, n. 2, p. 108-114, 2014.

STEELE, A.; JOHNSON, B. R. In vitro fracture strength of endodontically treated premolars. **J Endod**, v. 25, n. 1, p. 6-8, 1999.

- TAHA, D. G.; ABDEL-SAMAD, A. A.; MAHMOUD, S. H. Fracture resistance of maxillary premolars with class II MOD cavities restored withOrmocer, Nanofilled, and Nanoceramic composite restorative systems. **Quintessence Int**, v. 42, n. 7, p. 579-587, 2011.
- TAHA, N. A.; PALAMARA, J. E.; MESSER, H. H. Cuspal deflection, strain and microleakage of endodontically treated premolar teeth restored with direct resin composites. **J Dent**, v. 37, n. 9, p. 724-730, 2009.
- TAHA, N. A.; PALAMARA, J. E.; MESSER, H. H. Fracture strength and fracture patterns of root filled teeth restored with direct resin restorations. **J Dent**, v. 39, n. 8, p. 527-535, 2011.
- TANG, W.; WU, Y.; SMALES, R. J. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. **J Endod**, v. 36, n. 4, p. 609-617, 2010.
- TESTARELLI, L.; PLOTINO, G.; AL-SUDANI, D.; VINCENZI, V.; GIAN SIRACUSA, A.; GRANDE, N. M.; GAMBARINI, G. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. **J Endod**, v. 37, n. 9, p. 1293-1295, 2011.
- THOMPSON, S. A. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. **Int Endod J**, v. 33, n. 4, p. 297-310, 2000.
- TOPCUOGLU, H. S.; TOPCUOGLU, G. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue and Reciproc Files in an S-shaped Canal. **J Endod**, v. 43, n. 10, p. 1679-1682, 2017.
- TOPCUOGLU, H. S.; TOPCUOGLU, G.; AKTI, A.; DUZGUN, S. In Vitro Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of ProTaper Next, HyFlex CM, OneShape, and ProTaper Universal Instruments in a Canal with a Double Curvature. **J Endod**, v. 42, n. 6, p. 969-971, 2016.
- UNAL, G. C.; MADEN, M.; SAVGAT, A.; ONUR ORHAN, E. Comparative investigation of 2 rotary nickel-titanium instruments: protaper universal versus protaper. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 107, n. 6, p. 886-892, 2009.
- UZUN, I.; KELES, A.; ARSLAN, H.; GULER, B.; KESKIN, C.; GUNDUZ, 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**, v. 49, n. 12, p. 1175-1182, 2016.
- VAN ENDE, A.; VAN DE CASTEELE, E.; DEYPERE, M.; DE MUNCK, J.; LI, X.; MAES, F.; WEVERS, M.; VAN MEERBEEK, B. 3D volumetric displacement and strain analysis of composite polymerization. **Dent Mater**, v. 31, n. 4, p. 453-461, 2015.
- VERSLUIS, A.; VERSLUIS-TANTBIROJN, D. Filling cavities or restoring teeth? **J Tenn Dent Assoc**, v. 91, n. 2, p. 36-42; quiz 42-33, 2011.
- VERSIANI, M. A.; LEONI, G. B.; STEIER, L.; DE-DEUS, G.; TASSANI, S.; PECORA, J. D.; DE SOUSA-NETO, M. D. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. **J Endod**, v. 39, n. 8, p. 1060-1066, 2013.

VERSIANI, M. A.; LEONI, G. B.; STEIER, L.; DE-DEUS, G.; TASSANI, S.; PECORA, J. D.; DE SOUSA-NETO, M. D. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. **J Endod**, v. 39, n. 8, p. 1060-1066, 2013.

VERSIANI, M. A.; PECORA, J. D.; DE SOUSA-NETO, M. D. Flat-oval root canal preparation with self-adjusting file instrument: a micro-computed tomography study. **J Endod**, v. 37, n. 7, p. 1002-1007, 2011.

WEST, J. Progressive taper technology: rationale and clinical technique for the new ProTaper universal system. **Dent Today**, v. 25, n. 12, p. 64, 66-69, 2006.

YARED, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. **Int Endod J**, v. 41, n. 4, p. 339-344, 2008.

YE, J.; GAO, Y. Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. **J Endod**, v. 38, n. 1, p. 105-107, 2012.

YIN, X.; CHEUNG, G. S.; ZHANG, C.; MASUDA, Y. M.; KIMURA, Y.; MATSUMOTO, K. Micro-computed tomographic comparison of nickel-titanium rotary versus traditional instruments in C-shaped root canal system. **J Endod**, v. 36, n. 4, p. 708-712, 2010.

ZUPANC, J.; VAHDAT-PAJOUH, N.; SCHAFER, E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. **Int Endod J**, 2018.