

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Odontologia
Programa de Pós-Graduação em Odontologia



Tese

**Avaliação do comportamento mecânico de raízes fragilizadas
submetidas a diferentes estratégias restauradoras e carregamentos
oclusais**

Jerônimo Silva de Mello

Pelotas, 2020

Jerônimo Silva de Mello

**Avaliação do comportamento mecânico de raízes fragilizadas
submetidas a diferentes estratégias restauradoras e carregamentos
oclusais**

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Pelotas para obtenção do título de Doutor em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária.

Orientador: Prof. Dr. César Dalmolin Bergoli

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M527a Mello, Jeronimo Silva de

Avaliação do comportamento mecânico de raízes fragilizadas submetidas a diferentes estratégias restauradoras e carregamentos oclusais / Jeronimo Silva de Mello ; César Dalmolin Bergoli, orientador. — Pelotas, 2020.
54 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Prótese Dentária, Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Carga para fratura. 2. Oclusão. 3. Raízes fragilizadas.
4. Retentores intrarradiculares. I. Bergoli, César Dalmolin, orient.
II. Título.

Black : D3

Jerônimo Silva de Mello

Avaliação do comportamento mecânico de raízes fragilizadas submetidas a diferentes estratégias restauradoras e carregamentos oclusais

Tese apresentada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária, Programa de Pós- Graduação em Odontologia, Faculdade de Odontologia de Pelotas, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 15/05/2020.

Banca examinadora:

Prof. Dr. César Dalmolin Bérigoli
Doutor em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária, pela Universidade Estadual Julio Mesquita Filho (UNESP).

Prof. Dr. Lucas Pradebon Brondani
Doutor em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária, pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Prof. Dr. Douver Michelon
Doutor em Ortodontia, área de concentração Ortodontia, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Prof. Dr. Wellington Luiz Oliveira da Rosa
Doutor em Odontologia, área de concentração Materiais Odontológicos, pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Prof^a. Dra. Lisia Lorea Valente (suplente)
Doutora em Odontologia, área de concentração Dentística, pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Prof. Dr. Mateus Bertolini Fernandes dos Santos (suplente)
Doutor em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas, à Faculdade de Odontologia e ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, pela oportunidade de cursar o doutorado nesta instituição.

Ao frigorífico Producarne – Bagé/RS, por ceder o espaço, matéria prima e equipamento de proteção individual durante a fase inicial da tese.

Ao meu orientador César Bergoli.

Ao funcionário Celanir Júnior, pela sua presteza e disponibilidade.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Odontologia, em especial aos professores da área de Prótese Dentária.

À professora Nathália Ramos (Universidade São Francisco – Campus Bragança Paulista) pelo auxílio na condução dos testes de ciclagem e compressão.

Ao grande amigo e colega, Lucas Brondani (Universidade Federal de Pelotas), que sempre que precisei, se mostrou voluntarioso em me ajudar.

À minha família por mais essa conquista.

À minha querida esposa, Sílvia Mello, grande companheira que sempre me deu suporte para que eu pudesse encarar essa etapa.

Resumo

Mello, Jerônimo Silva de. **Avaliação do comportamento mecânico de raízes fragilizadas submetidas a diferentes estratégias restauradoras e carregamentos oclusais.** Orientador: César Dalmolin Bergoli. 2020. 54f. Tese (Doutorado em Prótese Dentária) – Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

A seleção do pino ou da técnica mais adequada para cada caso é a chave para o sucesso e a longevidade do tratamento planejado, embora a melhor abordagem para restaurar dentes com raízes fragilizadas permaneça controversa. Este estudo *in vitro* teve como objetivo avaliar a resistência à fratura de raízes fragilizadas, restauradas com três diferentes estratégias (Núcleo metálico fundido - NMF, pino anatômico - PA, reanatomização do conduto - RC), e dois tipos de carregamento oclusal (Cíngulo - C ou incisal - I), através de envelhecimento mecânico e posterior submissão à carga estática para fratura. Setenta e dois dentes incisivos bovinos foram utilizados neste experimento. Os espécimes foram divididos aleatoriamente em seis grupos (n=12), de acordo com a abordagem restauradora e o local da carga. Após a confecção dos retentores, todos os espécimes receberam coroas metálicas. Uma ciclagem mecânica de 1.200.000 (100N; $\pm 37^{\circ}\text{C}$; 4hz; 45° de inclinação, local cíngulo ou bordo incisal) foi aplicada com posterior submissão à carga estática para fratura. O presente trabalho também classificou o modo de falha dos espécimes como reparável e não reparável. Para analisar a relação entre os pinos e os locais de carga, foram aplicados diferentes testes estatísticos (teste t-pareado, Wilcoxon, One-way Anova e Kruskal-Wallis) e para verificar a relação entre o local de carga e o tipo de falha, foram utilizados outros testes (Chi quadrado e teste exato de Fisher). O pino metálico promoveu maiores valores de carga para fratura em raízes fragilizadas e maior quantidade de fraturas desfavoráveis para ambos os tipos de carga. Por outro lado, os outros dois grupos promoveram maior quantidade de fraturas reparáveis para ambos os tipos de carga e valores intermediários de carga para fratura, valores estes similares entre si. Quando avaliado o local da carga oclusal, todos os pinos apresentaram maiores valores de resistência à fratura quando a carga ocorreu no cíngulo em comparação à carga incisal. Com base nos resultados pode-se observar que raízes fragilizadas em pacientes com oclusão na porção incisal apresentam maior possibilidade de fratura do que em pacientes com oclusão na região do cíngulo. Em relação ao tipo de retentor concluímos que apesar do NMF gerar maiores valores, o PA e o RA são melhores opções, pois geraram valores intermediários de carga pra fratura, e que, mesmo assim, ainda são superiores as cargas fisiológicas observadas na região anterior, quando carregamento no cíngulo, e também por causa da maioria de fraturas reparáveis.

Palavras-chave: Carga para fratura. Oclusão. Raízes fragilizadas. Retentores intrarradiculares.

Abstract

Mello, Jerônimo Silva de. **Evaluation of different post types for filling flared incisor root canals under different occlusal loading.** Advisor: César Dalmolin Bergoli. 2020. 54 p. Thesis (PhD in Dentistry) - Graduate Program in Dentistry. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020.

The selection of the most adequate post system or technique for each case is the key to the success and longevity of the treatment planned, although the best approach to restoring teeth with weakened roots remains controversial. This in vitro study aims to evaluate the fracture resistance of weakened roots, restored with three different restoration strategies (cast post and core, anatomic post, flared root resin composite reanatomization), under edge to edge or cingule load, through mechanical cyclic aging and further submission to static load till fracture. Seventy-two incisors bovine teeth were used in this experiment. The specimens were randomly divided into six groups (n=12) according to the restorative approach (cast post and core, anatomic post and flared root resin composite reanatomization) and the load place (cingule load and edge to edge load). All specimens received metal crowns. A mechanical cycling of 1.200.000 cycles (100N; $\pm 37^{\circ}\text{C}$; 4hz; 45°) was applied with further submission to static load till fracture. The present article also classified the failure mode as repairable and nonrepairable. To analyze the relationship between the posts and load places different statistical tests were applied (Paired t- test, Wilcoxon, One-way anova, Kruskal-Wallis) and in order to verify the relationship between load site and failure another tests were used (Chi-square test, Fisher's exact test). The cast post and core promoted higher mean values of fracture load at weakened roots and higher levels of unfavorable fractures for both type of loads. Nevertheless, the other groups promoted more repairable fractures for both type of loads and an average fracture strength with statistical similar values. When evaluated the site of occlusal load all posts presented a higher mean fracture strength at cingule load compared to edge to edge load. According to the results, weakened roots at incisors presenting edge to edge load produce higher risk of fracture in comparison to incisors presenting cingule load. When comparing the posts, it can be concluded that despite cast post and core produce higher fracture strength values, the anatomic post and the flared root composite reanatomization groups are better options considering the average fracture strength values produced that are still higher than the physiological forces produced at cingule load and also because of the incidence of more repairable fractures.

Keywords: Load to fracture. Occlusion. Weakened roots. Intraradicular retainers.

Notas Preliminares

Este trabalho é apresentado de acordo com o Nível de Descrição nº 4, e artigos, previsto no Manual de Normas para Teses, Dissertações e Trabalhos Acadêmicos da Universidade Federal de Pelotas, aprovado pela resolução nº 03 de 22/02/2006 do COCEPE.

O projeto de pesquisa contido nesta tese foi apresentado em sua forma final após qualificação realizada em dezenove de dezembro de 2016 e aprovado pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. César Dalmolin Bergoli (orientador)

Doutor em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária, pela Universidade Estadual Julio de Mesquita Filho (UNESP).

Prof. Dr. Rafael Ratto de Moraes

Doutor em Odontologia, área de concentração Materiais Dentários, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Prof^a. Dr. Noéli Boscato

Doutora em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Prof^a. Dr. Tatiana Pereira Cenci (suplente)

Doutora em Odontologia, área de concentração Prótese Dentária, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Sumário

1. Introdução.....	9
2. Projeto de pesquisa.....	11
2.1 Introdução.....	11
2.2 Materiais e Métodos.....	13
2.3 Orçamento.....	21
2.4 Cronograma.....	22
2.5 Referências.....	23
3. Relatório do trabalho de campo.....	25
4. Artigo.....	27
5. Considerações Finais.....	49
Referências.....	50

1. Introdução

A reconstrução de dentes endodonticamente tratados é um desafio, pois geralmente toda ou a maior parte da coroa dentária foi perdida. Na maioria desses casos, é necessária a utilização de um retentor intrarradicular para reter o material de reconstrução (BALDISSARA, 2003).

Um dos fatores que influenciam o comportamento da estrutura dental é o módulo de elasticidade (E) dos retentores utilizados. A partir do momento em que uma carga é aplicada nessa estrutura dental restaurada, dependendo do retentor, as tensões podem se dissipar de maneira benéfica ou não. Os pinos reforçados por fibra (FRC) distribuem estresse para a dentina radicular de maneira mais favorável (FOKKINGA, 2005), no entanto, retentores com alto módulo de elasticidade, como os núcleos metálicos fundidos, geram aumento do estresse na estrutura radicular resultando em maiores chances de fratura (FERRARI; VICHÍ; GARCIA-GODOY, 2000).

Em cenários com condutos excessivamente fragilizados, a situação torna-se ainda mais crítica, aumentando a chance de fratura irreversível da estrutura radicular (WANDSCHER *et al.*, 2014). Apesar de gerar as maiores forças de carga para fratura, vários estudos têm confirmado que para raízes fragilizadas o núcleo metálico fundido tende a aumentar a chance das fraturas catastróficas (COELHO *et al.*, 2009; WANDSCHER *et al.*, 2014; DE SOUZA *et al.*, 2016). Para melhor aproximar os resultados desses estudos da realidade clínica, estudos têm sido realizados envelhecendo espécimes, através de ciclagem mecânica (DIETSCHI *et al.*, 2006; ROSENTRITT *et al.*, 2000). Neste sentido, embora considerando as limitações de estudos *in vitro*, a utilização de testes de envelhecimento através de ciclagem dinâmica é considerada uma ótima alternativa, previamente aos testes de fratura, para prever o comportamento de diferentes estruturais dentais e materiais restauradores (WISKOTT; NICHOLLS; BELSER, 1995).

Além dos fatores previamente citados, que podem interferir no comportamento de raízes fragilizadas restauradas, devemos somar a condição oclusal desses elementos. Num contexto oclusal ideal, os incisivos centrais superiores devem apresentar contatos oclusais leves ou nulos quando em máxima intercuspidação habitual com os antagonistas, e esses se situarem numa região entre cingulo e concavidade palatina (SHILLINBURG *et al.*, 2007).

Por outro lado, em pacientes cuja condição oclusal seja topo-a-topo ou durante os movimentos de apreensão de alimentos, as forças oclusais são aplicadas diretamente nas superfícies incisais, acarretando em uma maior predisposição a fratura de restaurações em resina e até mesmo do dente (MEZZOMO *et al.*, 2006).

Assim, levando em consideração os fatores expostos, esse estudo objetivou avaliar o comportamento biomecânico de raízes fragilizadas, restauradas com três tipos de retentores intrarradiculares, submetidas a dois tipos de carregamentos oclusais. A hipótese testada foi de que não observaríamos diferença nos valores de carga para fratura independente da abordagem restauradora ou carregamento oclusal.

2. Projeto de pesquisa

2.1 Introdução

A perda de mais da metade da porção coronária de um dente, por cárie ou fratura, indica a utilização de pinos intrarradiculares no intuito de fornecer melhor retenção e estabilidade ao futuro procedimento restaurador (COELHO *et al.*, 2009). Até o século passado a maioria dos pinos intrarradiculares utilizados eram núcleos metálico fundidos ou pinos metálicos pré-fabricados. No entanto, esses pinos afetam negativamente a estética das coroas, devido ao surgimento de alos acinzentados na região cervical e alterações cromáticas oriundas dos processos de transmissão de luz (ZALKIND; HOCHMAN, 1998), além de possuírem alto módulo de elasticidade o que, por consequência, aumenta a probabilidade de fratura catastrófica das raízes (AFROZ *et al.*, 2013).

Os pinos de fibra de vidro surgiram com o intuito de proporcionar uma melhor condição estética para a restauração protética final, devido a sua coloração e associação com resinas compostas para confecção do núcleo de preenchimento (ZALKIND; HOCHMAN, 1998). Além disso, devido ao seu módulo de elasticidade similar ao da dentina, eles apresentam uma melhor distribuição das forças oclusais (AFROZ *et al.*, 2013; ONA *et al.*, 2013) e uma menor probabilidade de fraturas radiculares (ROMEED; DUNNE, 2013). Apesar de serem mais atuais que os núcleos metálicos fundidos, estudos tem reportado que os pinos de fibra apresentam performance clínica similar a dos núcleos metálicos (SARKIS-ONOFRE *et al.*, 2014), aumentando sua confiabilidade e assim cada vez mais seu uso.

No entanto, frequentemente no dia-a-dia clínico surgem pacientes com dentes apresentando raízes fragilizadas para reabilitação (espessura de dentina das paredes da raiz menor que 1,0 milímetro), e um grande desafio aos profissionais têm sido escolher qual o melhor tipo de retentor para esses casos. A raiz fragilizada, em virtude de ter uma menor espessura de parede dentinária, apresenta uma significativa diminuição de sua resistência à fratura (WANDSCHER *et al.*, 2014). Nesse cenário, a utilização de pinos anatômicos tem sido uma alternativa interessante, uma vez que associa as propriedades mecânicas favoráveis do pino de fibra (AFROZ, *et al.*, 2013; ONA *et al.*, 2013) a possibilidade de diminuir a espessura de cimento utilizado para a cimentação (BELLI *et al.*, 2014).

Além das características inerentes a condição do elemento dentário, a oclusão também pode exercer papel importante na longevidade da restauração. O dentista deve esforçar-se para criar uma oclusão mais próxima do ideal sempre que possível. Nesse cenário, os incisivos centrais superiores devem apresentar contatos oclusais leves ou nulos quando em máxima intercuspidação habitual com os antagonistas, e esses se situarem numa região entre cingulo e concavidade palatina (SHILLINBURG *et al.*, 2007). Por outro lado, do ponto de vista funcional, também são os responsáveis por guiar os movimentos de protrusão, bem como pela apreensão de alimentos, o que faz com que recebam frequentemente forças nas suas superfícies incisais, acarretando em uma maior predisposição a fratura de restaurações em resina, e até mesmo do dente propriamente dito (MEZZOMO, 2006).

Existem diversos estudos na literatura avaliando o comportamento mecânico de raízes fragilizadas submetidas a testes monotônicos ou de envelhecimento mecânico (WANDSCHER *et al.*, 2014; SANTINI *et al.*, 2011; NIE *et al.*, 2012). No entanto, esses testes não reproduzem os padrões de falha observados na clínica, que normalmente ocorrem por fadiga, ou seja, após repetidas forças de pequena intensidade que levam a fratura catastrófica do material, a partir de defeitos microscópicos situados no interior do material (WISKOTT; NICHOLLS; BELSER, 1995). Nesse cenário, a utilização de testes de fadiga dinâmica consegue prever uma situação clínica, esses testes têm sido considerados o padrão para avaliar a influência da estratégia restauradora na longevidade do espécime (NIE *et al.*, 2012).

O limite de resistência à fadiga pode ser obtido utilizando-se diferentes métodos, dentre eles, o método de escada (SCHALCH, 2006; DIXON, 1965). Neste método, o número de ciclos é previamente fixado e os espécimes recebem inicialmente tensões com magnitude de 60% a 70% da tensão máxima suportada pelo material no ensaio estático correspondente. Dependendo do comportamento do material quanto à ocorrência ou não de fratura, a tensão é aumentada ou diminuída, empregando-se um incremento fixo nas fases seguintes. Após a realização do teste, são utilizadas expressões matemáticas para o cálculo do limite de resistência à fadiga e do desvio-padrão (SCHALCH, 2006).

Sendo assim, frente às diferentes variáveis citadas, este estudo objetiva avaliar o comportamento biomecânico de raízes fragilizadas sob dois tipos de carregamento oclusal, restauradas com três tipos de retentores intrarradiculares. A

hipótese avaliada é de que o tipo de retentor intrarradicular e o tipo de carregamento oclusal não influenciarão nos resultados do teste de fadiga mecânica.

2.2 Materiais e Métodos

Seleção e preparo dos espécimes

Inicialmente serão limpos com lâmina de bisturi nº. 15 (Lamedid, Barueri, SP, Brasil), e analisados com auxílio de uma lupa com aumento de 4 vezes (EyeMag Pro, Carl Zeiss do Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brasil) para detecção de possíveis falhas (fratura, fissura ou trinca) que possam comprometer os resultados deste estudo. Os dentes serão imersos por 2 horas em digluconato de clorexidina a 0,12% (Periogard, Colgate, São Bernardo do Campo, SP, Brasil) para desinfecção e armazenados em água destilada (Vi Química, Esteio, RS, Brasil) sob-refrigeração (4°Celsius) até sua utilização.

Após a seleção, as porções coronárias dos espécimes serão removidas, perpendicularmente ao longo eixo do dente, com ponta diamantada nº 3216 (KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil), em alta rotação sob-refrigeração com água, padronizando em 12 milímetros o comprimento da raiz. Como critério de inclusão, as dimensões méso-distal e vestibulo-lingual da porção mais cervical das raízes também serão medidas com um paquímetro digital (Starrett 727, Starrett Indústria e Comércio Ltda, Itu, SP, Brasil) e somente os dentes que apresentarem valor entre 6,0 e 7,0 milímetros serão incluídos no estudo, a fim de padronizar as dimensões de um incisivo central superior permanente (FERREIRA; SERRA, 1981). Os espécimes que apresentarem diâmetro da luz do canal maior que 2,0 milímetros (correspondente ao diâmetro do pino de fibra de vidro White Post DC #3 - FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) serão descartados e repostos.

Tratamento endodôntico

Após a seleção, será realizado preparo químico-mecânico do conduto do espécime pela técnica crown-down (BATISTA; BERGER, 2000) com comprimento de trabalho distante 1 milímetro do ápice (11 milímetros) sob irrigação com

hipoclorito de sódio a 2,5%. Após secagem do canal com cones de papel (Tanari, Manacapuru, AM, Brasil), a obturação do canal se dará pela técnica de condensação lateral (BERGER, 2000) com cimento obturador (Endofill, Dentsply, Petrópolis, SP, Brasil).

Simulação do ligamento periodontal

Para simulação do ligamento periodontal, todas as raízes serão revestidas com cera 7 (NeWWax, Technew, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), liquefeita em um recipiente com temperatura padrão de 70° Celsius (Polidora e plastificadora de godiva VH Essence Dental, Araraquara, SP, Brasil), na espessura de 0,3 milímetros em todas as faces. O ligamento será simulado da porção apical da raiz até 2,0 milímetros da porção mais coronária da mesma (WANDSCHER *et al.*, 2014).

Embutimento

Após a aplicação da cera, as raízes serão posicionadas no interior de cilindros de plástico de policloreto de vinila (PVC - 25 mm diâmetro e 15 mm de altura), e será inserida resina acrílica autopolimerizável (VIPI Flash, VIPI, Pirassununga, SP, Brasil) na fase plástica até 2,0 milímetros da porção mais coronária da raiz. Para o embutimento o conjunto dente/broca será fixado a um paralelômetro (Bio-Art, Bio-Art equip odonto, São Carlos, SP, Brasil) para garantir o paralelismo do conjunto ao cilindro de PVC. Após a polimerização da resina acrílica, o dente e a cera serão removidos do espaço criado, e um material elastomérico (Impregum F, 3M-Espe, Seefeld, Germany) será inserido no “falso alvéolo” e o dente reposicionado. Posterior à presa do material, os excessos de Poliéter serão removidos com lâmina de bisturi no 15 (Lamedid, Barueri, SP, Brasil).

Fragilização dos espécimes

A fragilização dos espécimes se dará com uma broca diamantada tronco-cônicas 4138 (KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil) sob alta rotação e refrigeração com água. O desgaste será feito da porção mais coronária da raiz até 3,0 milímetros de profundidade, padronizando-se 0,5 milímetros de espessura de dentina

remanescente na porção cervical do espécime. A verificação do diâmetro de dentina remanescente será controlada constantemente pelo uso de um paquímetro digital (Starrett 727, Starrett Indústria e Comércio Ltda, Itu, SP, Brasil).

Randomização dos espécimes e delineamento experimental

Para a randomização, os espécimes serão numerados de 1 a 120, e seis sequências aleatórias de vinte números serão geradas pelo programa de computador Random Allocation (desenvolvido por Saghaei M., Department of Anesthesia, University of Medical Sciences of Isfahan, Isfahan, Iran), de acordo com o tipo de retentor.

Tabela 1: Delineamento experimental do estudo

Retentor	Carregamento	Grupos (n=20)
Núcleo metálico fundido	Incisal	Gr1
	Cíngulo	Gr2
Pino de fibra de vidro	Incisal	Gr3
	Cíngulo	Gr4
Pino anatômico	Incisal	Gr5
	Cíngulo	Gr6

Preparo dos condutos radiculares

Todos os condutos serão desobturados e preparados com a broca do sistema de pinos de fibra White Post DC #3 (FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) até o comprimento de 8,0 milímetros para manutenção de 3,0 milímetros de material obturador na região do ápice. A verificação da espessura de dentina remanescente na parede vestibular, lingual, mesial e distal será controlada constantemente pelo uso do paquímetro digital (Starrett 727, Starrett Indústria e Comércio Ltda, Itu, SP, Brasil).

Confecção das estratégias restauradoras

Núcleo metálico fundido em liga Níquel/Cromo

Para este grupo, será realizada modelagem do conduto (PEGORARO, 1998) com resina acrílica (Dencrilay, Pirassununga, SP, Brasil) para todos os espécimes. O interior do conduto será modelado utilizando um pino plástico pré-fabricado (Pinjet, Angelus, Londrina, PR, Brazil) seguido da aplicação de incrementos de resina acrílica com auxílio de um pincel. O núcleo coronário será padronizado com a utilização de matrizes plásticas. Para garantir o adequado formato da porção coronária, o preparo coronário será refinado com brocas de acabamento 4138FF e 3118 FF (KG Sorensen, Cotia, SP, Brazil), respeitando as inclinações adequadas para a confecção de uma prótese fixa unitária (PEGORARO, 1998) em um incisivo central superior permanente. Os padrões em resina serão enviados ao laboratório da Faculdade de Odontologia de Pelotas para a fundição com liga a base de níquel-cromo (Wironia Light, Wilcos, Petropolis, RJ, Brasil) a qual ocorrerá conforme as recomendações do fabricante.

Os núcleos metálicos fundidos serão avaliados quanto à adaptação no espécime com carbono líquido e como tratamento de superfície o pino será limpo com álcool 70° e jateado com partículas de óxido de alumínio (125 µm, pressão: 2.8 bars, 10mm de distância por 15 segundos). Para a cimentação, será realizado o condicionamento da dentina radicular e coronária com ácido fosfórico a 37% (Condac 37, FGM produtos odontologicos, Joinvile, SC, Brasil) por 15 segundos, lavagem com água por 15 segundos e secagem do conduto com leves jatos de ar e cones de papel #80 (Tanari, Manacapuru, AM, Brasil). Após, o sistema adesivo Ambar (FGM produtos odontologicos, Joinvile, SC, Brasil) será aplicado com auxílio de um aplicador descartável (Cavibrush longo, FGM produtos odontologicos, Joinvile, SC, Brasil), seguido da remoção dos excessos com cones de papel (Tanari, Manacapuru, AM, Brasil) e fotoativação por 40 segundos com fotopolimerizador (Kavo do Brasil Ind, Joinville, SC, Brasil – 1100 Mw/cm²). A seguir, o cimento resinoso AllCem (FGM produtos odontologicos, Joinvile, SC, Brasil) será inserido no interior do conduto com auxílio de uma broca lântulo no 4 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) em baixa rotação. Por fim, os pinos serão posicionados, o excesso de cimento removido com sonda exploradora, e realizada a fotoativação na

porção cervical da raiz por 40 segundos em cada face, bem como a espera da cura total do cimento, que ocorre após 10 minutos.

Pino de fibra de vidro

Os pinos de fibra (White Post DC#3, FGM, Joinville, Brasil) serão posicionados no canal e seccionados com ponta diamantada em alta rotação mantendo 3,0 milímetros de porção coronária. Os canais radiculares serão secos com cones de papel (Tanari, Manacapuru, AM, Brasil), o pino limpo com álcool 70º e o preparo da superfície realizado com agente de união silano (Prosil, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil). A cimentação será conduzida da mesma forma como no grupo do núcleo metálico fundido.

Após a cimentação dos pinos, a construção do núcleo será realizada com resina composta (Oppalis, FGM produtos odontológicos, Joinville, Brasil), utilizando matrizes plásticas padronizadas com as mesmas medidas que o núcleo metálico fundido. A resina será inserida dentro da matriz, a qual será posicionada sobre o pino e a superfície do dente. A fotoativação será executada por 20 segundos em cada face e as matrizes removidas com auxílio de lâmina de bisturi no 15 (Lamedid, Barueri, SP, Brasil). O acabamento da porção coronária do preparo também será realizada da mesma maneira que no grupo núcleo metálico fundido.

Pino anatômico

Para esse grupo serão utilizados pinos de fibra White Post DC #3 (FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil). O tratamento de superfície dos pinos será idêntico ao realizado no grupo restaurado com pino de fibra de vidro.

Inicialmente, no interior do canal radicular será aplicada uma pequena camada de vaselina sólida (Lifar, Porto Alegre, RS, Brasil) a fim de evitar a união da resina composta às paredes do conduto com auxílio de um aplicador descartável (Cavibrush longo, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil). A seguir, a resina composta (Oppalis, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) será condensada no interior do conduto, o pino de fibra de vidro, já cortado com 3 milímetros de porção coronária, posicionado e o conjunto fotoativado por 20 segundos na superfície oclusal. Após a fotoativação, o conjunto será removido do conduto, fotoativado por mais 40 segundos e reinserido para verificação do correto

assentamento da peça. Para o procedimento de cimentação, o conjunto pino/resina composta será condicionado com ácido fosfórico a 37% (Condac 37, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) por 60 segundos, lavado com água por 60 segundos e seco com jatos de ar. A seguir, será aplicado o sistema adesivo, homogeneizando a película do material com leves jatos de ar e realizada a fotoativação do conjunto por 40 segundos. As técnicas de tratamento da dentina intrarradicular, inserção do cimento no conduto e reconstrução coronária serão idênticas às realizadas no grupo restaurado com pinos de fibra de vidro.

Confecção e cimentação das coroas metálicas

Centro e vinte coroas metálicas serão confeccionadas de acordo com a anatomia de um incisivo central superior, aproximadamente, com dimensões padronizadas de 10 milímetros de altura de coroa e 9 milímetros de dimensão mésio-distal (FERREIRA; SERRA, 1981). Para tal procedimento, será realizada moldagem dos corpos de prova com silicona de adição (Futura, NovaDFL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), de acordo com as recomendações do fabricante, e serão obtidos modelos com gesso pedra tipo IV (Durone, Dentsply, Petrópolis, SP, Brasil). Sobre os troquéis será aplicado uma camada de espaçador (Talmax, Curitiba, PR, Brasil), seguido de isolamento com isolante para troquel (Kota, Cotia, SP, Brasil), e por fim o enceramento das coroas em cera (Kota, Cotia, SP, Brasil). Após a remoção das matrizes, a adaptação marginal será realizada com espátula 3s e/ou através de possíveis acréscimos de cera. As coroas em cera serão enviadas para um laboratório comercial e fundidas de acordo com a recomendação do fabricante, com a mesma liga usada para a obtenção dos núcleos metálicos fundidos.

As coroas serão examinadas quanto à adaptação e posteriormente jateadas com óxido de alumínio (125µm, pressão: 2.8 bars, 10mm de distância por 15 segundos). Para a cimentação, o remanescente coronário será condicionado com ácido fosfórico a 37% (Condac 37, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) durante 20 segundos, seguido de lavagem por 20 segundos e secagem com jatos de ar. Após, o sistema adesivo Ambar (FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) será aplicado com um aplicador descartável (Cavibrush, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) e fotoativado durante 40 segundos (Kavo do Brasil, Joinville, SC, Brasil – 1100 Mw/cm²). Por fim, o cimento resinoso Allcem

(FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brasil) será inserido no interior da coroa com auxílio das pontas misturadoras/aplicadoras do próprio sistema, e a mesma levada em posição e assentada sobre o núcleo coronário. Após a remoção dos excessos será realizada a fotoativação de cada face pelo tempo de 40 segundos, bem como a espera de 10 minutos para cura total do cimento.

Teste pelo método de escada

Inicialmente será conduzido um teste de compressão em dois dentes em uma máquina de teste universal (DL 2000, EMIC, São Jose dos Pinhais, PR, Brasil) com o mesmo pistão que será utilizado no teste de resistência à fadiga. A força inicial para o teste de fadiga será de 60% da média das cargas para ruptura obtidas no teste de compressão.

O teste de fadiga será conduzido em ambiente úmido com água em temperatura ambiente, de acordo com o método de escada, em uma máquina de teste Instron (Instron Electro Plus E3000, Instron Corporation, Norwood, MA, United States). O espécime será posicionado em uma plataforma com inclinação de 45° em relação ao pistão, e uma força será aplicada no bordo incisal ou no cingulo. O limite de fadiga será determinado em 10.000 ciclos a uma frequência de 10 Hz. O aumento ou diminuição na carga ocorrerá de acordo com a sobrevivência ou falha do espécime, e se dará como 10% da carga de ruptura obtida no teste de compressão (incremento fixo). O limite de fadiga (σ) e o desvio-padrão (DP) serão determinados respectivamente usando as equações abaixo (COLLINS, 1993):

$$\sigma = \sigma_{X0} + d \left(\frac{\sum in_i}{\sum n_i} \pm 0.5 \right)$$

$$DP = 1.62d \left(\frac{\sum n_i \sum i^2 n_i - (\sum in_i)^2}{(\sum n_i)^2} + 0.029 \right)$$

Onde $X0$ é a menor carga considerada na análise, e d é o incremento fixo. Para determinação do limite de fadiga, a análise é baseada no número de eventos com menor frequência (sobrevivência ou fratura). O sinal negativo será usado se o evento menos frequente for à falha, e o sinal positivo será usado quando o evento menos frequente for à sobrevivência do espécime. A carga mais baixa considerada foi designada como $i=0$, $i=1$ a próxima, e assim sucessivamente, e n_i será o número de falhas ou sobrevivência dos espécimes a um nível de tensão determinado.

Análise pelo método de elementos finitos (MEF)

Para essa análise seis modelos bi-dimensionais serão obtidos a partir de um software de modelagem (*Rhinoceros® 4.0*). As dimensões das estruturas dos dentes modelados seguirão as médias existentes na literatura (FERREIRA; SERRA, 1981).

Depois da obtenção das linhas dos modelos, essas serão exportadas no formato *.iges CC143* e manipuladas no software de pré-processamento *MSCPatran 2005r2*. Inicialmente será verificada a relação entre as superfícies das estruturas dos modelos. Quando observado algum problema, serão feitas modificações nas linhas das superfícies utilizando as próprias ferramentas do software *MSCPatran 2005r2*, até que se observe adequada relação.

Após a verificação da relação entre as estruturas será gerada a malha dos modelos a partir de elementos quadriláteros no estado plano de deformação (*plane strain quad-4*) e será realizado o teste de convergência da malha. Após a geração das malhas serão aplicadas as condições de contorno nos modelos. Os nós externos da resina acrílica serão fixados em todos os graus de liberdade. Uma força de 100N será aplicada na região incisal ou do cíngulo dos modelos, sob uma inclinação de 45° e distribuída entre 3 nós, com o valor aplicado no nó central sendo o dobro do valor aplicado nos nós das extremidades. Os materiais serão considerados isotrópicos, homogêneos, lineares, e suas propriedades serão conferidas de acordo com dados da literatura e as interfaces serão consideradas perfeitamente unidas.

A análise pelo software de pré-processamento será realizada e se obterá um arquivo *.dat* que será manipulado no software de pós-processamento *MSCMentat 2005r2*. Nesse software as condições de contorno serão novamente verificadas e o processamento será realizado.

No pós-processamento será avaliada a distribuição e a direção da tensão máxima principal (σ_1) e a distribuição das tensões de Von Mises em todas as estruturas do modelo.

Análise Estatística

Os valores do limite de fadiga serão comparados utilizando o teste estatístico Two way-Anova ($\alpha=0.05$).

Análise da falha

Fraturas ou falhas reparáveis serão consideradas: decimentação ou fratura da coroa, fratura ou decimentação do retentor, ou fratura da raiz a nível cervical acima do nível do ligamento periodontal. Enquanto as irreparáveis: fratura abaixo do terço cervical da raiz, fratura radicular vertical ou oblíqua, ou fratura horizontal no terço médio ou apical da raiz.

2.3 Orçamento

A previsão orçamentária deste trabalho encontra-se abaixo esboçada.

Material	Quantidade	Valor Unitário
Resina acrílica vermelha (pó), Dencrilay, 25g	3 unidades	25,00 cada
Ponta diamantada nº. 4138 KG Sorensen	20 unidades	9,50 cada
Ponta diamantada nº. 4138 FF KG Sorensen	20 unidades	9,50 cada
Ponta diamantada nº. 3118 KG Sorensen	20 unidades	9,50 cada
Ponta diamantada nº. 3118 FF KG Sorensen	20 unidades	9,50 cada
Ponta diamantada nº. 3216 KG Sorensen	20 unidades	9,50 cada
Silicone de adição Kit (pasta densa, leve e pontas aplicadoras) Marca Futura	2 unidades	800,00
Óxido de alumínio Defama 125 micra, 2 Kg	2 unidades	100,00
Gesso especial tipo IV Durone	3 Kg	35,00 cada
Cone de papel absorvente # 80, Tanari (caixa)	5 caixas	25,00 cada
Cone obturador principal # 40, Tanari (caixa)	2 caixas	19,90 cada
Cone obturador acessório, Tanari (caixa)	3 caixas	22,00 cada
Revestimento - pó (1Kg) e líquido (250 ml), Heat Shok	4 frascos de cada	45,00 pó + 20,00 líq cada
Sprues de cera nº 2; nº 3; e nº 4	3 caixas de Cada	13,00 cada
Anti bolha Polidental (250 ml)	2 frascos	50,00

2.4 Cronograma

O período previsto para a execução deste projeto será de aproximadamente 30 meses, com início das atividades em Março de 2016. As atividades serão distribuídas conforme o cronograma a seguir.

Atividades	Período
Revisão da literatura	Março a Maio/2016
Elaboração do projeto	Junho a Agosto/2016
Seleção e Preparo dos espécimes	Setembro/ de 2016 a Março de 2017
Qualificação do projeto de tese	Dezembro/2016
Teste piloto	Abril/Maio 2017
Confecção corpos de prova e Realização dos Testes	Junho de 2017 a julho de 2018
Obtenção e Análise dos resultados	Agosto de 2018
Redação do artigo e da tese	Setembro/novembro de 2018
Defesa da tese	Dezembro de 2018

2.5 Referências

- AFROZ, S. et al. **Stress pattern generated by different post and core material combinations: a photoelastic study**. Indian Journal of Dental Research, v. 24, n. 1, p. 93-97, 2013.
- BATISTA, A.; BERGER, C.R. **Tratamento da polpa morta**. In: BERGER, C.R. Endodontia clínica. São Paulo: Pancast, p. 209-32, 2000.
- BELLI, S. et al. **Effect of restoration technique on stress distribution in roots with flared canals: an FEA study**. The Journal of Adhesive Dentistry. v. 16, n. 2, p. 185- 191, 2014.
- BERGER, C.R. **Obturação dos canais radiculares**. In: BERGER, C.R. Endodontia clínica. São Paulo: Pancast, p. 353-416, 2000.
- COELHO, C.S. et al. **Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts**. Dental Materials Journal. v. 28, n. 6, p. 671-8, 2009.
- COLLINS, J. A. **Failure of materials in mechanical design**. Analysis, prediction, prevention. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, p. 654, 1993.
- DIXON, M.J. **The up-and-down method for small samples**. Journal of the American Statistical Association. V. 60, p. 967-78, 1965.
- FERREIRA, F.V.; SERRA, O.D. **Incisivo central superior estudo individual**. In: Ferreira FV, Serra OD. Anatomia Dental. 3a ed. São Paulo: Artes Médicas; 1981. p. 69-74.
- MEZZOMO, E. **Aplicação clínica dos fundamentos de oclusão**. In: MEZZOMO, E.; SUZUKI, R.M. Reabilitação Oral Contemporânea. São Paulo: Santos, p. 243-302; 2006.
- NIE, E.M. et al. **Influence of masticatory fatigue on the fracture resistance of the pulpless teeth restored with quartz-fiber post-core and crown**. International Journal of Oral Science. V. 4, n. 4, p. 218-20, 2012.
- ONA, M. et al. **The influence of elastic modulus mismatch between tooth and post and core restorations on root fracture**. International Endodontic Journal. v. 46, n. 1, p. 47-52, 2013.
- PEGORARO, L.F. **Núcleos**. In: PEGORARO, L.F.; DO VALLE, A.L.; ARAUJO, C.R.P; BONFANTE, G.; CONTI, P.C.R; BONACHELA, V. Prótese Fixa. São Paulo: Artes Médicas, p. 85-110, 1998.
- PEGORARO, L.F. **Preparo de dentes com finalidade protética**. "In": PEGORARO, L.F.; DO VALLE, A.L.; ARAUJO, C.R.P; BONFANTE, G.; CONTI, P.C.R; BONACHELA, V. Prótese Fixa. São Paulo: Artes Médicas, p. 43-67, 1998.

ROMEED, S.A.; DUNNE, S.M. **Stress analysis of different post-luting systems: a three-dimensional finite element analysis**. Australian Dental Journal. v. 58, n. 1, p. 82-8, 2013.

SANTINI, M.F. et al. **Mechanical fatigue cycling on teeth restored with fiber posts: impact of coronal grooves and diameter of glassfiber post on fracture resistance**. Minerva Stomatologica. V. 60, n. 10, p. 485-93, 2011.

SARKIS-ONOFRE, R. et al. **Cast metal vs. glass fibre posts: a randomized controlled trial with up to 3 years of follow up**. Journal of Dentistry. v. 42, n. 5, p. 582-7, 2014.

SCHALCH, M. V. **Estudo da fadiga flexural de porcelana feldspática: efeito da ciclagem mecânica e limite de resistência pelo método de escada**. 2006. 91 f. Tese (Doutorado em Reabilitação Oral) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006.

SHILLINBURG, H.T. et al. **Fundamentos da Oclusão**. In: SHILLINBURG, H.T.; HOBOS, S.; WHITSETT, L.D.; JACOBI, R.; BRACKETT, S.E. Fundamentos de prótese fixa. 4a ed. São Paulo: Quintessence, p. 9-20, 2007.

WANDSCHER, V.F. et al. **Preliminary Results of the Survival and Fracture Load of Roots Restored With Intracanal Posts: Weakened vs Nonweakened Roots**. Operative Dentistry. v. 39, n. 5, p. 541-55, 2014.

WISKOTT, H.W.; NICHOLLS, J.I.; BELSER, U.C. **Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications**. International Journal of Prosthodontics. v. 8, n. 2, p. 105- 16, 1995.

ZALKIND, M.; HOCHMAN, N. **Esthetic considerations in restoring endodontically treated teeth with posts and cores**. Journal of Prosthetic Dentistry. v. 79, p. 702-5, 1998.

3. Relatório do trabalho de campo

As alterações sugeridas pela comissão examinadora de qualificação foram devidamente acatadas em diferentes graus. Abaixo listamos as dificuldades e impossibilidades que fizeram com que diferentes condutas fossem tomadas para a realização desse trabalho:

- Dificuldade na padronização dos espécimes bovinos utilizados, principalmente em relação ao diâmetro mésio-distal e vestibulo-palatino;
- Trocou-se o grupo pino de fibra de vidro pelo grupo reanatomização da raiz com resina composta, tendo em vista que já há comprovação científica que o pino de fibra de vidro com elevada espessura de cimento apresenta uma menor força de união. E além do mais, no grupo de reanatomização da raiz com resina composta não há ainda uma metodologia definida em relação ao passo a passo da estratégia restauradora, além do que é uma técnica bem mais recente e optamos por utilizar a resina bulkfill nesse caso em virtude da quantidade de resina a ser unida a raiz, pela técnica incremental usada, poder ser maior;
- Em relação à metodologia, inicialmente foi planejado realizar teste de fadiga nos espécimes. Após conseguirmos verba para confecção das bases em 45° e as recebermos para o teste de fadiga na máquina Instron (*Instron Electro Plus E3000*, Instron Corporation, Norwood, MA, United States) no laboratório da Faculdade de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Pelotas, começamos os testes estáticos na *EMIC* (DL 2000, EMIC, São Jose dos Pinhais, PR, Brasil), conforme metodologia descrita na qualificação. Previamente ao preparo dos espécimes para realização do teste dinâmico houve uma descarga elétrica quando a máquina *Instron* estava sendo utilizada para outro teste, e por não estar conectada a um *nobreak* houve instantânea parada de funcionamento da mesma. Após meses aguardando a vinda do técnico para avaliação da máquina Instron, tivemos a visita do mesmo e nos foi informado que o conserto teria um custo muito alto, o que inviabilizou a utilização dessa máquina para a tese causando alteração no planejamento e roteiro. Pensou-se na possibilidade de fazer a técnica de envelhecimento dos espécimes na máquina *Biocycle* (Biocycle V2 equipment, Biopdi, São Carlos, SP, Brasil), localizada na Faculdade de Odontologia – Universidade Federal de Pelotas, e após submetê-los a teste estático na *EMIC*. A dificuldade encontrada nesse momento foi que a máquina de envelhecimento faz à

ciclagem perpendicular a base e nesta pesquisa os espécimes são submetidos à ciclagem sob 45° de inclinação. Foram realizados testes, consultando livros de cálculo, para confecção de um novo cilindro alterando sua forma e técnica de embutimento para ciclagem na máquina Biocycle. Quando na proximidade da concretização desse fato o professor César Bergoli conseguiu que os espécimes fossem testados no laboratório da universidade São Francisco – Campus Bragança Paulista;

- Houve a necessidade de embutir novamente os espécimes que foram submetidos à carga na porção incisal por solicitação dos colegas responsáveis pela execução da ciclagem na Universidade São Francisco;
- A troca da metodologia de teste de fadiga para teste estático permitiu a diminuição da quantidade de espécimes para cada grupo;
- Optou-se por não confeccionar a análise de elementos finitos devido a dificuldades em realizar a metodologia.

4. Artigo

Evaluation of different post types for filling flared incisor root canals under different occlusal loading.*

Jerônimo Silva de Mello (DDS, MSc, PhD student)¹

Nathália de Carvalho Ramos (DDS, MSc, PhD)²

Marco Antonio Bottino (DDS, MSc, PhD)³

César Bergoli (DDS, MSc, PhD)⁴

1 PhD student, Graduate Program in Dentistry, Federal University of Pelotas, Pelotas, RS, Brazil.

2 Post-Doctorate, São Paulo State University (UNESP), São José dos Campos, SP, Brazil.

3 Titular Professor, São Paulo State University (UNESP), São José dos Campos, SP, Brazil.

4 Adjunct Professor, Graduate Program in Dentistry, Federal University of Pelotas, Pelotas, RS, Brazil.

Corresponding author: César Dalmolin Bergoli, DDS, MSD, PhD, Department of Restorative Dentistry, University of Pelotas, Street Gonçalves Chaves, 457, 96015-560, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. Phone: +55 53 3225-6741. Email: cesarbergoli@gmail.com

Keywords: post type; occlusion; flared roots; weakened roots; load to fracture.

Acknowledgments

The authors thanks FGM dentistry products industry

* Artigo formatado de acordo com as normas da revista *Journal of Prosthetic Dentistry* (<https://www.thejpd.org/>)

ABSTRACT

Statement of the problem: The selection of the most adequate post system or technique for each case is the key to the success and longevity of the treatment planned, although the best approach to restoring teeth with weakened roots remains controversial.

Objective: This in vitro study aims to evaluate the fracture resistance of weakened roots, restored with three different restoration strategies (cast post and core, anatomic post, flared root resin composite reanatomization), under edge to edge or cingule load, through mechanical cyclic aging and further submission to static load till fracture.

Material and Methods: Seventy-two incisors bovine teeth were used in this experiment. The specimens were randomly divided into six groups (n=12) according to the restorative approach (cast post and core, anatomic post and flared root resin composite reanatomization) and the load place (cingule load and edge to edge load). All specimens received metal crowns. A mechanical cycling of 1.200.000 cycles (100N; $\pm 37^{\circ}\text{C}$; 4hz; 45°) was applied with further submission to static load till fracture. The present article also classified the failure mode as repairable and nonrepairable. To analyze the relationship between the posts and load places different statistical tests were applied (Paired t- test, Wilcoxon, One-way anova, Kruskal-Wallis) and in order to verify the relationship between load site and failure mode another tests were used (Chi-square test, Fisher's exact test).

Results: The cast post and core promoted higher mean values of fracture load at weakened roots and higher levels of nonrepairable fractures for both type of loads. Nevertheless, the other groups promoted more repairable fractures for both type of loads and an average fracture strength with statistical similar values. When evaluated the site of occlusal load all posts presented a higher mean fracture strength at cingule load compared to edge to edge load.

Conclusions: According to the results, weakened roots at incisors presenting edge to edge load produce higher risk of fracture in comparison to incisors presenting cingule load. When comparing the posts, it can be concluded that despite cast post and core produce higher fracture strength values, the anatomic post and the flared root composite reanatomization techniques are better options considering the average fracture strength values produced that are still higher than the physiological forces produced at cingule load and also because of the incidence of more repairable fractures.

CLINICAL IMPLICATIONS

According to this in vitro research, the influence of occlusion as one more factor in the whole analysis prior to choose the best clinical choice in reconstruction protocol when facing flared root must be considered. It can be concluded that despite cast metal post produce higher fracture strength values, the anatomic post and the flared root composite reanatomization groups are better options considering the average fracture strength values produced that are still higher than the physiological forces produced at cingule load and also because of the incidence of more repairable fractures.

INTRODUCTION

Restoration of endodontically treated teeth with extensive coronal damage is a common clinical problem. Depending on the remaining tooth structure, different treatment planning can be purposed. There are studies relating that loss of tooth structure greater than 50% would determine the use of root posts to retain a core and to distribute stress. Although many professionals have believed equivocally, in the past, that posts could strengthen endodontically treated teeth, root posts are used only as a requirement to retain a core when coronal structure is missed ¹.

The material from which the post is constructed plays a crucial role in the biomechanical performance of root canal treated teeth. Since last century, cast post and core and prefabricated metal posts were largely used, but recently there has been an increasing trend toward the use of fiber post systems. The demand for esthetics has led to the development of metal-free post systems. Fiber post system provides more esthetic result than cast post and core² and have a modulus of elasticity similar to dentin³ thus reducing the stress concentrations at the dowel/dentin interface⁴ and preventing irreparable root fractures, more associated with cast post and core ⁴⁻¹⁰.

Material property of the post has been shown to affect the stress distribution. It is most favorable in terms of stress distribution when two substances of equivalent or almost near modulus of elasticity, like dentin and fiber post ³. Fiber posts acts like shock-absorber dissipating stress on the finished restoration with small fraction forces to dentin walls. However, when stress is applied to a post system, a rigid post (with high modulus of

elasticity, like cast metal post) will no longer follow the elastic deformation but will create localized stress peak inside the root, eventually leading to root fracture⁴.

More recently Bouldias P, et al. have proposed the modification and reline of the dowel itself according to the canal shape, with the help of composite resin. Named by anatomic post¹¹, this device has been successfully used in cases of flared roots because of the thinner resin cement layer that increases resin/dentin bond strength by reducing polymerization shrinkage and the presence of bubbles^{3,12}. Furthermore, the main mechanism of retention of the posts is not only adhesion, but frictional retention since friction occurs by contact and posts that promote a closer contact with dentine tend to have higher retention forces³.

The flared canal, arising as a result of carious extension, trauma to an immature tooth, pulpal pathosis, iatrogenic or endodontic misadventure, or even idiopathic causes, can present a difficult restorative problem to the practicing dentist¹³. The concern about maintaining a weakened teeth in the dental arch, to preserve function and aesthetics, has led to the development of alternative techniques, since the quantity of coronal and root dentin that remains after root canal treatment and post space preparation plays an important role in the longevity of the tooth and restoration^{9,10,14-20}. Dentin exhibits considerable plastic deformation that enables resistance of different angles and degrees of load applied during normal occlusal function. Tooth fracture occurs when the applied loads exceed the tensile strength or proportional limit of dentin as capability of dentin for plastic deformation is decreased¹⁹.

Another choice of post-retained rehabilitation at this type of clinical situation is to reinforce the flared root canal with composite resin. After this occur the drilling and luting of a fiber post likewise a nonweakened root situation. This is one of the latest options recently tested at this scenario, and despite that promizing results can be expected from this type of intra-radicular treatment^{5,14,16,17,19,20}. The selection of the most adequate post system or technique for each case is the key to the success and longevity of the treatment planned, although the best approach to restoring teeth with weakened roots remains controversial.

Beyond the characteristics of the remaining dental structure, occlusal forces may play an important role at survival rate of every tooth and restorative dental treatment. Dentist should create the ideal occlusion whenever its possible. In this scenario, the maxillary central incisors, teeths that are also responsible for guiding jaw protrusion movement as well as seizuring food, should present mild or null occlusal contacts considering maximal intercusp

position, and these are located at palatal face between cingulate and palatal concavity ²¹. However, this often is not the clinical situation observed.

The purpose of the study was to evaluate the fracture resistance of weakened roots, restored with three different post types, under edge to edge or edge to cingule load, through mechanical loading and further static load test in a universal machine test till fracture. The fracture mode was analyzed as well in repairable and nonrepairable. The null hypothesis for the present study was that the site of occlusal load and the restoration technique (cast post and core, anatomic post and flared root composite reanatomization) have no influence on the fracture resistance of the weakened roots tested.

MATERIALS AND METHODS

Selection and preparation of specimens

Seventy-two incisors bovine teeth were used in this experiment. All teeth were cleaned with a scalpel blade nº. 15 (Lamedid, Barueri, SP, Brazil). After this the teeth were analyzed with magnifying glasses (4x magnification, EyeMag Pro S, Carl Zeiss, Gottingen, Germany) in order to detect any possible fracture, fissure or crack that could had compromised the results of this in vitro study. Then the teeth were stored for 2 hours in 0.12% chlorhexidine digluconate solution (Periogard, Colgate, Sao Bernardo do Campo, SP, Brazil) for disinfection and subsequently stored in distilled water (Vi Química, Esteio, RS, Brazil) under refrigeration (4°C).

Crowns were removed to obtain 12 mm of root length. Thereafter, the coronal diameter of the root was measured with a digital caliper (Starrett 727, Starrett Indústria e Comercio Ltda, Itu, Brazil) and only teeth that had values between 6,0 to 7,0 mm width were included. The root canals could not present a diameter larger than 2,0 mm.

All roots were endodontically treated (11mm of work length), and after 24 hours the root canals were prepared to a depth of 8,0 mm using a specific drill of a fiber post system (White Post DC #3 - FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil).

To simulate the periodontal ligament, all roots from the apex to 2,0 mm apical from the coronal surface were coated with a 0.3-mm-thick layer of wax (NeWWax, Technew, Rio de Janeiro, RJ, Brazil) that was liquefied in a container at a standardized temperature of 70°C.

A digital caliper (Starrett 727, Starrett Indústria e Comércio Ltda, Itu, SP, Brazil) was used to measure this procedure.

Subsequently, each root was embedded into a plastic cylinder (height: 15mm, diameter: 25mm) using the drill of the post system connected to a surveyor (Bio-Art, Bio-Art equip odonto, São Carlos, SP, Brazil), where the long axis was parallel to the cylinder and perpendicular to the ground. After a chemically activated acrylic resin (VIPI Flash, VIPI, Pirassununga, SP, Brazil) was prepared and inserted inside the cylinder up to 2,0 mm from the coronal surface.

After total polymerization of the acrylic resin, the roots were removed from the “fake socket” and both were cleaned to remove the wax. Then an elastomeric material (Impregum F, 3MESPE, Seefeld, Germany) was prepared and inserted into the “fake socket” and the roots were again repositioned into the same position using the same surveyor.

Now the root canals were flared using a diamond bur #4138 (KG Sorensen, Cotia, SP, Brazil), under water irrigation, according to a schematic representation (Figure 1), and constantly checked using a digital caliper (Starrett 727, Starrett Indústria e Comércio Ltda, Itu, SP, Brazil).

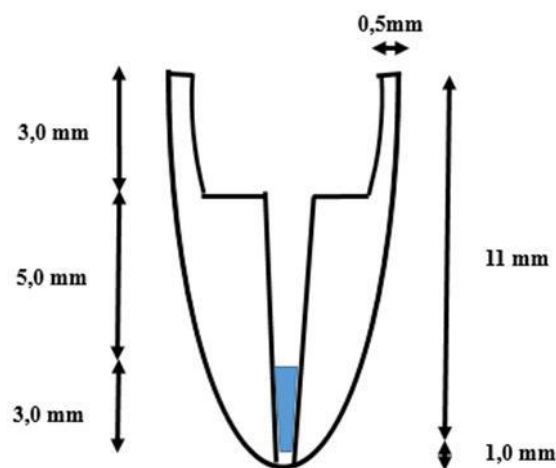


Figure 1: Schematic representation of specimens after preparation.

At this time specimens were divided into six groups (n=12) according to the restorative approach and the load place (Table 1). Randomization was accomplished by numbering the specimens from 1 to 72, and six random sequences of 12 numbers were generated by the computer program Random Allocator (developed by M. Saghaei, Department of Anesthesia, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran).

Root Restorative strategies

Cast Post and Core (CPC group)

Patterns of the intracanal post space and core were made with prefabricated plastic pin (Pinjet, Angelus, Londrina, PR, Brazil) and acrylic resin (Dencrilay, Pirassununga, SP, Brazil). The cores had their dimensions standardized by using plastic matrices. To ensure an adequate shape of the coronary portion finishing burs were used (#4138FF and #3118 FF - KG Sorensen, Cotia, SP, Brazil) to respect a proper inclination for a fixed unit prosthesis in a permanent upper central incisor.

After this, the casting procedure, as recommended by the manufacturer (Wironia Light, Wilcos, Petropolis, RJ, Brazil), proceeded.

The posts were blasted with aluminum oxide particles (125 µm, pressure: 2.8 bars, 10 mm distance for 15 seconds). The cementation protocol was: root dentin conditioning with 37% phosphoric acid (Condac 37, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) for 15 seconds; water wash for 15 seconds; light air drying of the root and the excess water removed with #80 paper point (Tanari, Manacapuru, AM, Brazil); light cured self-etch adhesive agent (Ambar Universal, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) application with a disposable device (Cavibrush longo, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil), followed by removing any adhesive excess with paper points #80 (Tanari, Manacapuru, AM, Brazil) and further light curing for 40 seconds (Kavo do Brasil Ind, Joinville, SC, Brazil – 1100 Mw/cm²); insertion of the dual cured cement (AllCem, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) into the root canal with mixing applicator tips followed by insertion of the post, removing cement excess with an exploratory probe and photo activation for 40 seconds at each face of the post. After 10 minutes (time for total cure of the cement), the specimens were stored again.

Anatomic Post (AP group)

The following procedures were performed: fiber posts (White Post DC#3, FGM, Joinville, Brazil) were positioned into the root canal and sectioned using a diamond bur #4138 (KG Sorensen, Cotia, SP, Brazil), under water irrigation, maintaining a tip with 3,0 mm of coronary portion; light air drying of the root canals and the excess water removed with #80 paper point (Tanari, Manacapuru, AM, Brazil); the fiber posts were cleaned with alcohol 70°

and further surface silanization (Prosil, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) occurred, according to manufacturer's instructions; at root walls was applied a water-soluble lubricant gel (K-Med gel, Cimed ind. Medicamentos Ltda, São Paulo, SP, Brazil) to avoid composite resin bonding to the root with a disposable device (Cavibrush longo, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil); then the composite resin (Oppalis, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) was introduced into the root canal, the post positioned and the resin light cured for 20 seconds; the post/composite resin structure was removed from the teeth, and light cured for more 40 seconds, and reinserted again to verify the correct adaptation.

The protocol for surface treatment of the assembly was: post/composite resin structure conditioning with 37% phosphoric acid (Condac 37, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) for 60 seconds; water wash for 60 seconds; air drying; silanization (Prosil, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil), according to manufacturer's instructions, with further application of a light cured self-etch adhesive agent (Ambar Universal, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) with a disposable device (Cavibrush regular, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil), and subsequently light curing for 40 seconds (Kavo do Brasil Ind, Joinville, SC, Brazil – 1100 Mw/cm²).

After intracanal root dentin treatment and post/composite cementation, like CPC group, the core construction was performed with composite resin (Opallis, FGM Dental Products, Joinville, Brazil) using standardized plastic matrices like Gr1 e Gr2. The resin was inserted into the matrix, which was positioned over the post and light cured for 20 seconds on each face. After this and after removing the matrix, finishing burs were used, like CPC group, to ensure an adequate shape of the coronary portion.

Flared root composite reanatomization (RC group)

The following procedures were performed: fiber posts (White Post DC#3, FGM, Joinville, Brazil) were positioned into the root canal and sectioned using a diamond bur #4138 (KG Sorensen, Cotia, SP, Brazil), under water irrigation, maintaining a tip with 3,0 mm of coronary portion; root dentin weakened site conditioned with 37% phosphoric acid (Condac 37, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) for 15 seconds; water wash for 15 seconds; light air drying of the root canals and the excess water removed with #80 paper point (Tanari, Manacapuru, AM, Brazil); light cured self-etch adhesive (Ambar Universal, FGM, Joinville, Brazil) applied at the weakened part of the root with a disposable device (Cavibrush

regular, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil) and light curing for 20 seconds; after that a water-soluble lubricant gel (K-Med gel, Cimed ind. Medicamentos Ltda, São Paulo, SP, Brazil) was applied at post surface with a disposable device (Cavibrush regular, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil), then the post surface was placed into the root canal; a bulk fill composite resin (Opus bulk fill APS, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil) was introduced at the weakening part of the root and light curing occurred for 40 seconds; then the post was removed and the root canal water washed for 30 seconds; the fiber posts were cleaned with alcohol 70° with subsequently surface silanization (Prosil, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil), according to manufacturer's instructions; at this time the root canal was again drilled by the specific drill of the system (White Post DC #3, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil).

The intracanal root dentin treatment, cementation and core-built procedures proceeded like wise AP group.

Preparation and Cementation of the Metal Crowns

Seventy-two metal crowns were fabricated according to the anatomy of an upper central incisor, height: 10 mm and mesiodistal diameter: 9mm. Each specimen was molded with addition silicone impression material (Futura, NovaDFL, Rio de Janeiro, RJ, Brazil), according to manufacturer's instructions, and a master die was obtained with special dye gypsum type IV (Durone, Dentsply, Petrópolis, SP, Brazil). On all gypsum models was applied a die spacer (Talmax, Curitiba, PR, Brazil) on the prosthetic preparation, with further isolation (Die isolator, Kota, Cotia, SP, Brazil), and subsequently crown wax using standardized upper central incisor templates. After removed the matrix, a better marginal adaptation for each crown was made with a 3S hollenback spatula (Fava, São Paulo, SP, Brazil) with further wax addition, if necessary. Then, the casting procedure (Wironia Light, Wilcos, Petropolis, RJ, Brazil) of all crowns, as recommended by the manufacturer, occurred. The crowns were internally blasted with aluminum oxide particles (125 µm, pressure: 2.8 bars, 10 mm distance, and 15 seconds). The cementation procedure of the crowns was performed with the following steps: prosthetic space conditioning using 37% phosphoric acid (Condac 37, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil) for 20 seconds; water wash for 20 seconds; air drying; light cured self-etch adhesive (Ambar Universal, FGM, Joinville, SC, Brazil) with a disposable device (Cavibrush regular, FGM produtos odontológicos, Joinville, SC, Brazil) and subsequently light curing for 40 seconds (Kavo do Brasil Ind,

Joinville, SC, Brazil – 1100 Mw/cm²); then the application of the dual cured cement (AllCem, FGM produtos odontologicos, Joinville, SC, Brazil) into the crown with mixing applicator tips and subsequently insertion at prosthetic space; after removing cement excess with an exploratory probe, light curing for 40 seconds at each face of the crown occurred, as well as waiting for 10 minutes to total cure of the cement before store the specimens again. After the crown cementation specimens were allocated to the groups, in accordance to the type of restorative strategy and location of applied load (Table 1).

Aging and Fracture load test

All specimens were submitted to 1.200.000 mechanical cycles (Erios ER- 37000, ERIOS, São Paulo, SP, Brazil) following the protocol: 45° to the long axis of the tooth, 100 N of load, $\pm 37^{\circ}$ C and 4 Hz of frequency. The load were applied using a stainless steel piston that applied a load at the cingule (Figure 2) or at incisal edge (Figure 3). Specimens were analyzed after the cycle and before static test to avoid that any crack or little fracture at the root could influence the results of this study.



Figure 2: Specimens immersed in water at $\pm 37^{\circ}$ C under cingule load



Figure 3: Specimens immersed in water at $\pm 37^{\circ}\text{C}$ under edge to edge load

After aging specimens were submitted to load to fracture test in a universal testing machine (EMIC DL100, São José dos Pinhás, PR, Brazil), at 45° with a cross head speed of 1 mm/min. To each group the load was applied in the same region of aging, in a point of 1 mm^2 , using a stainless steel piston. The value of fracture resistance (N) of each specimen was defined as the highest value observed during test.

Failure Mode

The evaluation of the failure was performed with magnifying glasses (4x magnification, EyeMag Pro S, Carl Zeiss, Gottingen, Germany). Each specimen was classified as repairable (decementation, post fracture or any root fracture at cervical third above periodontal ligament) or nonrepairable failure (fracture below periodontal ligament).

Statistical analysis

The findings were recorded and subjected to suitable statistical analysis using Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) software version 15.0.

First of all, Shapiro-wilks normality test were used considering $p > 0.05$. To compare only load site in each post group (fracture strength load), when data was considered normal the paired t-test was used, and when data deviate from a normal distribution the non-parametric test of Wilcoxon was used. To compare all type of posts according to the load site of the specimen (fracture strength load), when data was considered normal the One-way Anova test was used, and when data had not a normal distribution the Kruskal-Wallis test was

used.

In order to verify the relationship between the load site and failure mode a bivariate analysis was used through chi-square test for association. When chi-square test was not appropriate because of data distribution, the Fisher's exact test at 2 x 2 table was used.

RESULTS

When compared the site of load in each post group, cingule load generated statistically higher values in comparison to edge to edge load, independent of the restoration strategy (Table 2). Cast post and core group had statistical higher mean values of fracture strength when compared to the two other groups, at both load sites (Table 3). When comparing only failure mode (repairable or nonrepairable) in each post group there is no significant difference ($p>0,05$) between cingule and edge to edge (Table 4). On the other hand, there was statistical differences comparing the mode of failure of the three restorative strategies (Table 5), with AP and RC group showing more repairable fractures (Figure 4) while CPC group showed more nonrepairable fractures (Figure 5).

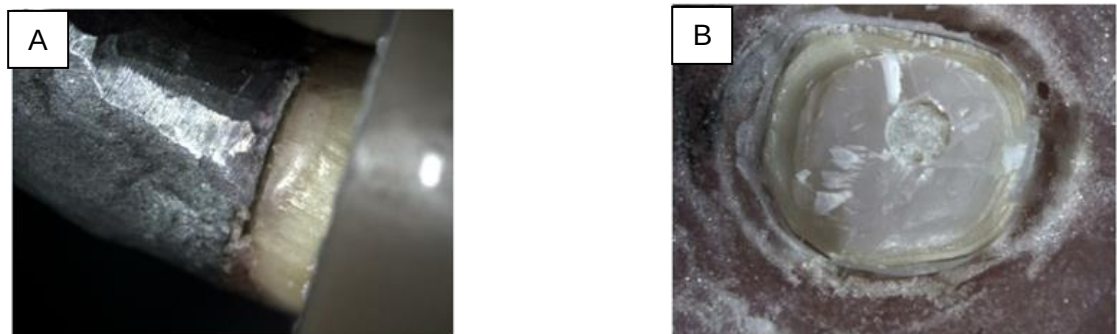


Figure 4: Figure showing repairable fractures: (A) dislodgment of crown; (B) resin post core fracture.

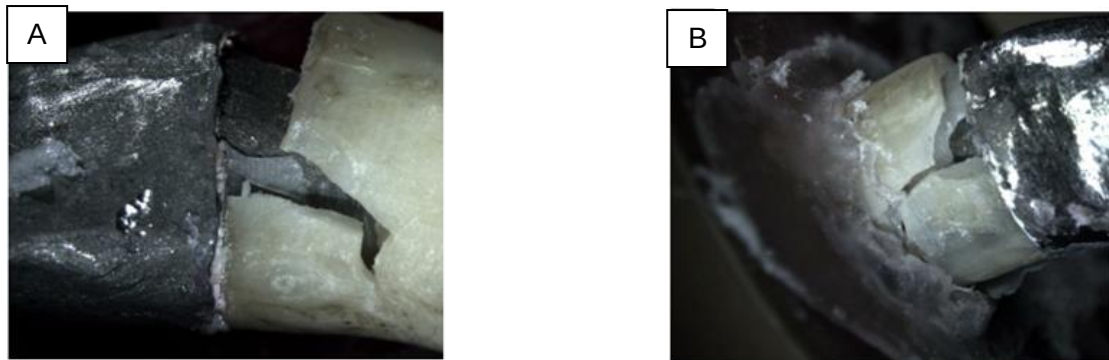


Figure 5: Figure showing nonrepairable fracture: (A) root fracture below periodontal ligament in a specimen of CPC group under cingule load; (B) root fracture below periodontal ligament in a specimen of CPC group under edge to edge load

DISCUSSION

Considering the results obtained for the present study the null hypothesis that considered that the site of occlusal load and the restoration technique (cast post and core, anatomic post and flared root composite reanatomization) would had no influence on the fracture resistance of the weakened roots tested was rejected. The cast post and core group promoted higher mean values of fracture load at weakened roots and higher levels of unfavorable fractures for both type of loads. This is in accordance with researchs that investigate the cingule load ^{4,6-10}. There is no data to compare edge to edge load at weakened roots since this research is the first one to investigate (in vitro study) this scenario. Nevertheless the other groups promoted more repairable fractures for both type of loads and an average fracture strength when tested at cingule load, also in accordance with other studies ^{5-10,19,20,22}. When evaluating the site of occlusal load all posts presented a higher mean fracture strength at cingule load compared to edge to edge load.

Different methodologies concerning the method of reconstruction protocol at flared root composite reanatomization group ^{5,14,16,17,19,20} exist. This in vitro study was the first one to use bulk fill composite resin of high-viscosity to fill weakened roots. Bulk fill composite resins are classified into high-viscosity and low-viscosity (flowable) materials. High-viscosity bulk fill composites include greater amounts of filler particles compared to low-viscosity bulk fill composites. As a result, the flowable composite resins exhibit better adaptation on the cavity walls but present greater polymerization shrinkage and lower mechanical properties. Although bulk fill composites are generally more translucent, the practitioner has to follow

the manufacturer's recommendations on curing technique and maximum incremental thickness ²³. Reis AF, et al. concluded that bulk fill composite resins are properly cured in 4 mm of cavity depth, measured by depth of cure and /or degree of conversion ²⁴. So, using a bulk fill resin composite of high-viscosity in this in vitro study might be the best solution for this group since our flaring protocol was no further than 3 mm. Although difficulties in providing an adequate curing at deepest regions of the canal wall affecting material properties and its bonding to adhesive layer (lower bond strength) was reported in other study ¹⁷. This also might be related to the weakening protocol that was deeper and by the use of a conventional composite resin with low-viscosity.

The latest options recently tested at this scenario, RC group, has demonstrated promising results when compared to AP group restoring flared roots. This group showed intermediate performance to fracture resistance and these values were not statistically different from anatomical post ^{17,19}, like the results obtained in the present research. Even though demonstrated lower bond strength, when tested through push-out test, comparing to anatomic post ¹⁷. It might be too early to make any statement, however according to the results obtained in this in vitro study and the others a suitable option of intraradicular treatment is available to use.

Considering the roots reconstructed with AP group it's probable that the accurate adaptation and retention to the flared canal walls provided by the relining of the fiber posts with composite resin (thus reducing the cement thickness around the post) is an important factor in obtaining acceptable mechanical performance. In other research, under different levels of compromised root, also showed no statistical difference between the flared roots, mostly because of the adhesive bonding and the modulus of elasticity similar to dentin ²⁵. When analyzed through finite element analysis showed homogeneous stress distribution to the dentine external surface compared to cast metal posts that demonstrated elevated stress levels in the root canal regardless the presence of ferrule, also been suggested to avoid the use in weakened roots ²¹. This is also in accordance with this research when considering the percentage of repairable fractures at AP group.

Both techniques, anatomic post and flared root composite reanatomization specimens, are not easy to perform and require more clinical time-consuming when compared to the use of conventional fiber post cementation.

Considering the mechanism of root fracture, this event might be induced due to the wedging effect of a loose post within a root canal as a result of adhesion failure between root

canal dentin and resin cements¹⁰. The stress accumulated in the post is transferred by the dentin to the outer surface of the tooth. In case of a thin dentinal wall, the load required to initiate tooth fracture is minimized¹⁹. The fracture part of post-and-core with low elastic modulus is closer to the root neck which is favorable for re-restoration, while the post-and-core with high elastic modulus can transfer the occlusion stress directly and the broken parts mostly occur in the middle and the tip of the roots²⁶.

Because of the much higher elastic modulus of cast post and core, when the root bending deformation occurs under occlusal stress, the post cannot deform synchronously and wedge stress appears at the tip of the post, and the force zone changes from surface contact to point contact. The huge elastic modulus difference between the metal post and dentin will make the root reach the peak value of stress instantaneously when the post is subjected to an excessive impact load, resulting in irreparable root fracture²⁷. This is in accordance with this study because there were more nonrepairable fractures at CPC group.

The resulting flared root canals have thin dentin walls, leaving them too weak to withstand normal masticatory forces and hence susceptible to fractures^{9,10,14-20}. High stress areas are concentrated at the buccal side and in the cervical region of the root. This observation can be critical in the weakened teeth due to dentinal loss in the coronal third and to choose the more suitable intracanal retainer²⁸. Roots with an adequate amount of remaining dental structure can be restored using any evaluated intracanal post system¹⁰.

Although the maximal physiological forces acting on the upper central incisor teeth in the oral cavity is 146,17 N (mean values at men group)²⁹, these forces are lower than the most groups tested (mean values) in the present study, with exception of G4 and G6, that present similarity in fracture strength values. This suggests that the physiological forces can influence mainly in groups that have edge to edge load performed with fiber post reconstruction. It also indicates that further attention the clinician should have about this at the time of choosing a strategie of post reconstruction.

When a force is exerted on a rigid object pivoted about an axis, the object tends to rotate about that axis. Its magnitude is defined by the expression $(F.d)$, where F is the force applied and d is the distance measured from the axis of rotation to where the linear force is applied³⁰. Considering this in vitro study, lower levels of forces will be necessary to rotate an object (or produce a fracture), the higher is the distance from the axis. This in accordance with this study since the specimens that had an edge to edge load presented lower fracture strength

than the specimens loaded at cingule.

The use of bovine teeth to in vitro researchs has been widely used and is considered an alternative to the use of human teeth because of the similarity between the mineralized and demineralized dentine matrix of human and bovine teeth ¹⁸.

It is known that in the oral environment, dental reconstructions usually fail due to damage caused by cumulative effects such as fatigue, which differs from what occurs in monotonic tests that apply a unique static load until a specimen fails. For that reason, aging by means of mechanical cycling is a method of evaluating the behavior of different restorative systems by approximately simulating actual clinical conditions ⁷. This procedure promotes statistical difference in fracture strength values likewise the absence of periodontal ligament, other aging protocol ⁵ and presence of ferrule ³¹ (a minimum of 1 to 2 mm of remaining tooth structure coronal at the finishing line) that can produce higher values of fracture strength.

While indicate the best alternative to use nowadays when a clinical situation of a weakened root is not available, mechanical tests simulating intraoral conditions are important tools for evaluating restorative materials and techniques. Different values can be expected in fracture strength mostly because there are methodological differences at in vitro analysis researchs [type of tooth, tooth characteristics (length and width), flaring padronization, presence or absence of mechanical cycling, aging protocols, presence or absence of crown, crown material, presence or absence of ferrule, presence or absence of periodontal ligament]. Variability in results is directly related to study design and methodologies used ⁵.

Static tests are still important for assessing the maximum load required for rupture of a specimen. Most articles use the fracture resistance test to assess and compare the behavior of different posts facing this challenging and sensitive scenario that is the flared root. The present study was an in vitro investigation that could not fully replicate the oral conditions which was considered a limitation of this study. However, care should be taken when extrapolating the results of laboratory studies to the clinical situation. Clinical extrapolation of the results must be done prudently, since not all conditions of the oral environment can be simulated. Clinically, the forces generated by masticatory activities occur in several directions instead of a single direction, as performed in the in vitro compressive fracture strength tests.

Future studies focusing on in vivo results among large number of sample group should be taken up to better evaluate the best type of post in this specific clinical situation. Unfortunately a difficult scenario can be expected to compare different reconstruction protocols in vivo mainly because of the sample padronization making all process more slow,

laborious and possibly with higher costs.

CONCLUSION

According to this in vitro research, the influence of occlusion can be considered as one more factor in the whole analysis prior to choose the best clinical choice in reconstruction protocol when facing a flared root. Weakened roots at incisors presenting edge to edge load produce higher risk of fracture in comparison to incisors presenting cingule load. When comparing the posts, it can be concluded that despite cast post and core had higher fracture strength values, the anatomic post and the flared root composite reanatomization techniques are better options considering the average fracture strength values produced that are still higher than the physiological forces produced at cingule load and also because of the incidence of more repairable fractures.

REFERENCES

- 1 Faria AC, Rodrigues RC, de Almeida Antunes RP, de Mattos Mda G, Ribeiro RF. Endodontically treated teeth: characteristics and considerations to restore them. *J Prosthodont Res.* 2011 Apr;55(2):69-74. doi: 10.1016/j.jpor.2010.07.003. Epub 2010 Aug 14;
- 2 Zalkind M, Hochman N. Esthetic considerations in restoring endodontically treated teeth with posts and cores. *J Prosthet Dent.* 1998 Jun;79(6):702-5;
- 3 Da Silveira-Pedrosa DM, Martins LR, Sinhoreti MA, Correr-Sobrinho L, Sousa-Neto MD, Costa ED Junior, de F Pedrosa-Filho C, de Carvalho JR Junior. Push-out Bond Strength of Glass Fiber Posts Cemented in Weakened Roots with Different Luting Agents. *J Contemp Dent Pract.* 2016 Feb 1;17(2):119-24;
- 4 Hegde J, Ramakrishna, Bashetty K, Srirekha, Lekha, Champa. An in vitro evaluation of fracture strength of endodontically treated teeth with simulated flared root canals restored with different post and core systems. *J Conserv Dent.* 2012 Jul;15(3):223-7. doi: 10.4103/0972-0707.97942;
- 5 Solomon CS, Osman YI. In vitro comparison of endodontic posts in structurally compromised roots of maxillary incisors. *SADJ.* 2011 Jun;66(5):220-3;
- 6 Silva GR, Santos-Filho PC, Simamoto-Júnior PC, Martins LR, Mota AS, Soares CJ. Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots. *Braz Dent J.* 2011;22(3):230-7;
- 7 Broch J, Marchionatti AM, Bergoli CD, Valandro LF, Kaizer OB. Fracture resistance of weakened roots restored with different intracanal retainers. *Gen Dent.* 2015 May-Jun;63(3):58-63;
- 8 Aggarwal V, Singla M, Miglani S, Kohli S. Comparative evaluation of fracture resistance of structurally compromised canals restored with different dowel methods. *J Prosthodont.* 2012 Jun;21(4):312-6. doi: 10.1111/j.1532-849X.2011.00827.x. Epub 2012 Feb 19;
- 9 Clavijo VG, Reis JM, Kabbach W, Silva AL, Oliveira Junior OB, Andrade MF. Fracture strength of flared bovine roots restored with different intraradicular posts. *J Appl Oral Sci.*

2009 Nov-Dec;17(6):574-8;

10 Wandscher VF, Bergoli CD, Limberger IF, Ardenghi TM, Valandro LF. Preliminary results of the survival and fracture load of roots restored with intracanal posts: weakened vs nonweakened roots. *Oper Dent*. 2014 Sep-Oct;39(5):541-55. doi: 10.2341/12-465. Epub 2014 Feb 6;

11 Boudrias P, Sakkal S, Petrova Y. Anatomical post design meets quartz fiber technology: rationale and case report. *Compend Contin Educ Dent*. 2001;22:337-40;

12 Marcos RM, Kinder GR, Alfredo E, Quaranta T, Correr GM, Cunha LF, et al. Influence of the Resin Cement Thickness on the Push-Out Bond Strength of Glass Fiber Posts. *Braz Dent J*. 2016 Sep-Oct;27(5):592-598. doi: 10.1590/0103-6440201600886;

13 Lui JL. Composite resin reinforcement of flared canals using light-transmitting plastic posts. *Quintessence Int*. 1994 May;25(5):313-9;

14 Moosavi H, Maleknejad F, Kimyai S. Fracture resistance of endodontically-treated teeth restored using three root-reinforcement methods. *J Contemp Dent Pract*. 2008 Jan 1;9(1):30- 7;

15 Zogheib LV, Pereira JR, do Valle AL, de Oliveira JA, Pegoraro LF. Fracture resistance of weakened roots restored with composite resin and glass fiber post. *Braz Dent J*. 2008;19(4):329-33;

16 Zogheib LV, Saavedra Gde S, Cardoso PE, Valera MC, Araújo MA. Resistance to compression of weakened roots subjected to different root reconstruction protocols. *J Appl Oral Sci*. 2011 Nov-Dec;19(6):648-54;

17 Gomes GM, Gomes OM, Gomes JC, Loguercio AD, Calixto AL, Reis A. Evaluation of different restorative techniques for filling flared root canals: fracture resistance and bond strength after mechanical fatigue. *J Adhes Dent*. 2014 Jun;16(3):267-76;

18 Sivieri-Araujo G, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Bortoluzzi EA, Jorge ÉG, Reis JM. Fracture resistance of simulated immature teeth after different intra-radicular treatments. *Braz Dent J*. 2015 May-Jun;26(3):211-5;

19 Sary S B, Samah M S, Walid A AZ. Effect of restoration technique on resistance to fracture of endodontically treated anterior teeth with flared root canals. *J Biomed Res*. 2019 Apr 22;33(2):131-138. doi: 10.7555/JBR.32.20170099;

20 Bhagat A, Mittal L, Mogla S, Kaur T, Dheeraj M, Marwah G. Impact of Root Dentin Thickness on the in vitro Compressive Strength of Teeth treated with Recent Post and Core Systems. *J Contemp Dent Pract*. 2017 Nov 1;18(11):1065-1070;

21 Shillinburg, H.T. et al. Fundamentos da Oclusão. In: Shillinburg, H.T.; Hobo, S.; Whitsett, L.D.; Jacobi, R.; Brackett, S.E. Fundamentos de prótese fixa. 4a ed. São Paulo: Quintessence; 2007. p. 9-20;

22 Santos-Filho PC, Veríssimo C, Raposo LH, Noritomi MecEng PY, Marcondes Martins LR. Influence of ferrule, post system, and length on stress distribution of weakened root-filled teeth. *J Endod*. 2014 Nov;40(11):1874-8. doi: 10.1016/j.joen.2014.07.015. Epub 2014 Sep 13;

23 Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig*. 2014 Nov;18(8):1991-2000. doi: 10.1007/s00784-013-1177-y. Epub 2014 Jan 11;

24 Reis AF, Vestphal M, Amaral RCD, Rodrigues JA, Roulet JF, Roscoe MG. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review. *Braz Oral Res*. 2017 Aug 28;31(suppl 1):e59. doi: 10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0059;

25 Junqueira RB, de Carvalho RF, Marinho CC, Valera MC, Carvalho CAT. Influence of glass fiber post length and remaining dentine thickness on the fracture resistance of root filled teeth. *Int Endod J*. 2017 Jun;50(6):569-577. doi: 10.1111/iej.12653. Epub 2016 May 27;

26 Pang J, Feng C, Zhu X, Liu B, Deng T, Gao Y, et al. Fracture behaviors of maxillary central incisors with flared root canals restored with CAD/CAM integrated glass fiber post-

and-core. Dent Mater J. 2019 Feb 8;38(1):114-119. doi: 10.4012/dmj.2017-394. Epub 2018 Nov 1;

27 Sobek J, Veselý V, Seitzl S. Combination of wedge splitting and bending fracture test-crack tip stress field and nonlinear zone extent analysis. Adv Mater Res 2014; 969: 67-72;

28 Belli S, Eraslan Ö, Eraslan O, Eskitaşcıoğlu G. Effect of restoration technique on stress distribution in roots with flared canals: an FEA study. J Adhes Dent. 2014 Apr;16(2):185-91. doi: 10.3290/j.jad.a30686;

29 Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Dellavia C, Tartaglia GM. Single tooth bite forces in healthy young adults. J Oral Rehabil. 2004 Jan;31(1):18-22;

30 Serway, R. A., Jewett, J. W. Rotation of a Rigid Object about a Fixed Axis. In: Serway, R. A., Jewett, J. W. Physics for scientists and engineers. 6th edition. Belmont, CA: Thomson- Brooks/Cole; 2004. p. 292-35;

31 Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 1990;63(5):529-36.

TABLES

Table 1 - Experimental design of the in vitro study

Post	Load	Group (n=12)
Cast Post and core	Cingule	Gr1
	Edge to edge	Gr2
Anatomic post	Cingule	Gr3
	Edge to dge	Gr4
Flared root composite	Cingule	Gr5
Reanatomization	Edge to edge	Gr6

Table 2 - Load to fracture Values (Newtons) comparing the influence of the site of load for each restorative strategy

Post	Load	Mean (standard deviation)	P (a<0.05)
Cast post and core	Cingule	534,70 (143,6)	0,002*
	Edge to edge	273,39 (66,6)	
Anatomic post	Cingule	237,34 (81,1)	0,017**
	Edge to edge	152,55 (40,28)	
Flared root composite reanatomization	Cingule	241,84 (64,4)	0,001**
	Edge to edge	141,88 (30,02)	

* Wilcoxon Signed Ranks Test **: Paired t-test

Table 3 - Mean of Load to fracture Values and Standard Deviation (SD) comparing the influence of the restorative strategy for each site of load

Load	Post			P
	Cast post and core	Anatomic post	Flared root composite reanatomization	
Cingule	534,70(143,6) ^a	237,34(81,1) ^b	241,84(64,4) ^b	<0,001 ¹
Edge to edge	273,39(66,6) ^a	152,55(40,28) ^b	141,88(30,02) ^b	<0,001 ²

¹: Kruskal-wallis test; ²: One-way Anova test

Table 4 - Failure mode in each post group

Post	Load	Group (n=12)	P
Cast post and core	Cingule	Gr1 Repairable =5 (41,6%) Nonrepairable= 7 (58,4%)	0,414 ¹
	Edge to edge	Gr2 Repairable = 7 (58,4%) Nonrepairable = 5 (41,6%)	
Anatomic post	Cingule	Gr3 Repairable = 11 (91,6%) Nonrepairable = 1 (8,33%)	0,500 ²
	Edge to edge	Gr4 Repairable = 12 (100%) Nonrepairable = 0 (0%)	
Flared root composite Reanatomization	Cingule	Gr5 Repairable = 12 (100%) Nonrepairable = 0 (0%)	0,500 ²
	Edge to edge	Gr6 Repairable = 11 (91,6%) Nonrepairable = 1 (8,33%)	

¹: Chi-square test; ²: Fisher's exact test

Table 5 - Failure mode comparing the post groups and its relationship considering cingule and edge to edge load

Failure mode	Post		P
	Cast post and core	Anatomic post	
Nonrepairable	12(50,0%)	1(4,2%)	<0,001 ¹
Repairable	12(50,0%)	23(95,8%)	
	Cast post and core	Flared root composite reanatomization	
Nonrepairable	12(50,0%)	1(4,2%)	<0,001 ¹
Repairable	12(50,0%)	23(95,8%)	
	Anatomic post	Flared root composite Reanatomization	
Nonrepairable	1(4,2%)	1(4,2%)	0,755 ²
Repairable	23(95,8%)	23(95,8%)	

¹: Chi-square test; ²: Fisher's exact test

LEGENDS

Figure 1: Schematic representation of specimens after preparation

Figure 2: Specimens immersed in water at $\pm 37^{\circ}\text{C}$ under cingule load

Figure 3: Specimens immersed in water at $\pm 37^{\circ}\text{C}$ under edge to edge load

Figure 4: Figure showing repairable fractures: (A) dislodgment of crown; (B) resin post core fracture

Figure 5: Figure showing nonrepairable fracture: (A) root fracture below periodontal ligament in a specimen of CPC group under cingule load; (B) root fracture below periodontal ligament in a specimen of CPC group under edge to edge load

5. Considerações Finais

Tendo em vista os resultados apresentados no presente trabalho, pode-se concluir que as estratégias restauradoras de raízes fragilizadas com pino de fibra e através da técnica de reanatomização geraram valores médios maiores aos observados em boca além de padrões de falha reparáveis. Além disso, observamos que dentes com padrão oclusal topo-a-topo apresentam chance de fraturar com menor valor de carga, o que faz com que devamos ter maior atenção dos mesmos após realização do procedimento restaurador.

Referências

AGGARWAL, V. et al. **Comparative evaluation of fracture resistance of structurally compromised canals restored with different dowel methods.** Journal of Prosthodontics. v. 21, n. 4, p.312-6, 2012.

AFROZ, S. et al. **Stress pattern generated by different post and core material combinations: a photoelastic study.** Indian Journal of Dental Research, v. 24, n. 1, p. 93-97, 2013.

BATISTA, A.; BERGER, C.R. **Tratamento da polpa morta.** In: BERGER, C.R. Endodontia clínica. São Paulo: Pancast, p. 209-32, 2000.

BALDISSARA P. **Mechanical properties and in vitro studies** In: Ferrari M, Scotti R. Fiber posts. Theoretical considerations and clinical applications. Milan, Masson, p.39-51, 2003.

BELLI, S. et al. **Effect of restoration technique on stress distribution in roots with flared canals: an FEA study.** The Journal of Adhesive Dentistry. v. 16, n. 2, p. 185- 191, 2014.

BERGER, C.R. **Obturação dos canais radiculares.** In: BERGER, C.R. Endodontia clínica. São Paulo: Pancast, p. 353-416, 2000.

BHAGAT, A. et al. **Impact of Root Dentin Thickness on the in vitro Compressive Strength of Teeth treated with Recent Post and Core Systems.** The Journal of Contemporary Dental Practice. v. 18, n. 11, p. 1065-1070, 2017.

BOUDRIAS, P.; SAKKAL, S.; PETROVA, Y. **Anatomical post design meets quartz fiber technology: rationale and case report.** Compendium of Continuing Education in Dent. v. 22, p. 337-40, 2001.

BROCH, J. et al. **Fracture resistance of weakened roots restored with different intracanal retainers.** General Dentistry. v. 63, n. 3, p. 58-63, 2015.

BUCUTA, S.; ILIE, N. **Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites.** Clinical Oral Investigations. v. 18, n. 8, p. 1991-2000, 2014.

CLAVIJO, V.G. **Fracture strength of flared bovine roots restored with different intraradicular posts.** Journal of Applied Oral Science. v. 17, n. 6, p. 574-8, 2009.

COELHO, C.S. et al. **Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts.** Dental Materials Journal. v. 28, n. 6, p. 671-8, 2009.

COLLINS, J. A. **Failure of materials in mechanical design.** Analysis, prediction, prevention. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, p. 654, 1993.

DA SILVEIRA-PEDROSA, D.M. et al. **Push-out Bond Strength of Glass Fiber Posts Cemented in Weakened Roots with Different Luting Agents.** The Journal of Contemporary Dental Practice. v. 17, n. 2, p. 119-24, 2016.

DE SOUZA, N. C., MARCONDES, M. L., DA SILVA, D., JUNIOR, L. B., SPOHR, A. M. **Relined Fiberglass Post: Effect of Luting Length, Resin Cement, and Cyclic Loading on the Bond to Weakened Root Dentin.** Oper Dent. v. 41, n. 6, p.174-182, 2016.

DIETSCHI, D., ARDU, S., ROSSIER-GERBER, A., KREJCI, I. **Adaptation of adhesive post and cores to dentin after in vitro occlusal loading: evaluation of post material influence.** J. Adhes. Dent. 8, 409-419, 2006.

DIXON, M.J. **The up-and-down method for small samples.** Journal of the American Statistical Association. V. 60, p. 967-78, 1965.

FARIA, A.C. et al. **Endodontically treated teeth: characteristics and considerations to restore them.** Journal of Prosthodont Research. v. 55, n. 2, p. 69-74, 2011.

FERRARIO, V.F. et al. **Single tooth bite forces in healthy young adults.** Journal of Oral Rehabilitation. v. 31, n. 1, p.18-22, 2004.

FERREIRA, F.V.; SERRA, O.D. **Incisivo central superior estudo individual.** In: Ferreira FV, Serra OD. Anatomia Dental. 3a ed. São Paulo: Artes Médicas, p. 69-74, 1981.

FOKKINGA, W.A., ET AL. **Ex vivo fracture resistance of direct resin composite complete crowns with and without posts on maxillary premolars.** Int. Endod. J. 38, 230-237.

GOMES, G.M. et al. **Evaluation of different restorative techniques for filling flared root canals: fracture resistance and bond strength after mechanical fatigue.** The Journal of Adhesive Dentistry. v. 16, n. 3, p. 267-76, 2014.

HEDGE, J. et al. **An in vitro evaluation of fracture strength of endodontically treated teeth with simulated flared root canals restored with different post and core systems.** Journal of Conservative Dentistry. v. 15, n. 3, p. 223-7, 2012.

HEYDECKE, G.; BUTZ, F.; HUSSEIN, A.; STRUB, J.R. **Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-andcore systems.** J. Prosthet. Dent. 87, 438-445, 2002.

JUNQUEIRA, R.B. et al. **Influence of glass fiber post length and remaining dentine thickness on the fracture resistance of root filled teeth.** International Endodontic Journal. v. 50, n. 6, p. 569-577, 2017.

LUI, J.L. **Composite resin reinforcement of flared canals using light-transmitting plastic posts.** Quintessence International. v. 25, n. 5, p. 313-9, 1994.

MARCOS, R.M. et al. **Influence of the Resin Cement Thickness on the Push-Out Bond Strength of Glass Fiber Posts**. Brazilian Dental Journal. v. 27, n. 5, p. 592-598, 2016.

MEZZOMO, E. **Aplicação clínica dos fundamentos de oclusão**. In: MEZZOMO, E.; SUZUKI, R.M. Reabilitação Oral Contemporânea. São Paulo: Santos; 2006. p. 243- 302.

MOOSAVI, H.; MALEKNEJAD, F.; KIMYAI, S. **Fracture resistance of endodontically- treated teeth restored using three root-reinforcement methods**. The Journal of Contemporary Dental Practice. v. 9, n. 1, p. 30-7, 2008.

NIE, E.M. et al. **Influence of masticatory fatigue on the fracture resistance of the pulpless teeth restored with quartz-fiber post-core and crown**. International Journal of Oral Science. v. 4, n. 4, p. 218-20, 2012.

ONA, M. et al. **The influence of elastic modulus mismatch between tooth and post and core restorations on root fracture**. International Endodontic Journal. v. 46, n. 1, p. 47-52, 2013.

PANG, J. et al. **Fracture behaviors of maxillary central incisors with flared root canals restored with CAD/CAM integrated glass fiber post-and-core**. Dental Materials Journal. v. 38, n. 1, p. 114-119, 2019.

PEGORARO, L.F. **Núcleos**. In: PEGORARO, L.F.; DO VALLE, A.L.; ARAUJO, C.R.P; BONFANTE, G.; CONTI, P.C.R; BONACHELA, V. Prótese Fixa. São Paulo: Artes Médicas, p. 85-110, 1998.

PEGORARO, L.F. **Preparo de dentes com finalidade protética**. "In": PEGORARO, L.F.; DO VALLE, A.L.; ARAUJO, C.R.P; BONFANTE, G.; CONTI, P.C.R; BONACHELA, V. Prótese Fixa. São Paulo: Artes Médicas; 1998 b. p. 43-67;
REIS, A.F. et al. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review. Brazilian Oral Research. v. 31, 2017.

ROMEED, S.A.; DUNNE, S.M. **Stress analysis of different post-luting systems: a three-dimensional finite element analysis**. Australian Dental Journal. v. 58, n. 1, p. 82-8, 2013.

ROSENTRITT, M.; FÜRER, C.; BEHR, M.; LANG, R.; HANDEL, G. **Comparison of in vitro fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores**. J. Oral. Rehabil. 27, 595-601, 2000.

SANTINI, M.F. et al. **Mechanical fatigue cycling on teeth restored with fiber posts: impact of coronal grooves and diameter of glassfiber post on fracture resistance**. Minerva Stomatologica. V. 60, n. 10, p. 485-93, 2011.

SANTOS-FILHO, P.C. et al. **Influence of ferrule, post system, and length on stress distribution of weakened root-filled teeth**. Journal of Endodontics. v. 40, n. 11, p. 1874-8, 2014.

SARKIS-ONOFRE, R. et al. **Cast metal vs. glass fibre posts: a randomized controlled trial with up to 3 years of follow up.** Journal of Dentistry. v. 42, n. 5, p. 582-7, 2014.

SARY, S.B.; SAMAH, M.S.; WALID, A.AZ. **Effect of restoration technique on resistance to fracture of endodontically treated anterior teeth with flared root canals.** Journal of Biomedical Research. v. 33, n. 2, p. 131-138, 2019.

SCHALCH, M. V. **Estudo da fadiga flexural de porcelana feldspática: efeito da ciclagem mecânica e limite de resistência pelo método de escada.** 2006. 91 f. Tese (Doutorado em Reabilitação Oral) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006.

SERWAY, R.A.; JEWETT, J.W. **Rotation of a Rigid Object about a Fixed Axis.** In: SERWAY, R.A.; JEWETT, J.W. Physics for scientists and engineers. 6th edition. Belmont, CA: Thomson-Brooks/Cole, p. 292-35, 2004.

SHILLINBURG, H.T. et al. **Fundamentos; da Oclusão.** In: SHILLINBURG, H.T.; HOBO, S.; WHITSETT, L.D.; JACOBI, R.; BRACKETT, S.E. Fundamentos de prótese fixa. 4a ed. São Paulo: Quintessence, p. 9-20; 2007.

SILVA, G.R. et al. **Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots.** Brazilian Dental Journal. v. 22, n. 3, p. 230- 7, 2011.

SIVIERI-ARAUJO, G. et al. **Fracture resistance of simulated immature teeth after different intra-radicular treatments.** Brazilian Dental Journal. v. 26, n. 3, p. 211-5, 2015.

SOBEK, J.; VESELÝ, V.; SEITL, S. **Combination of wedge splitting and bending fracture test-crack tip stress field and nonlinear zone extent analysis.** Advanced Materials Research. p. 67-72, 2014.

SOLOMON, C.S.; OSMAN, Y.I. **In vitro comparison of endodontic posts in structurally compromised roots of maxillary incisors.** Journal of the South African Dental Association. v. 66, n. 5, p. 220-3.

SORENSEN, J.A.; ENGELMAN, M.J. **Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth.** The Journal of Prosthetic Dentistry. v. 63, n. 5, p. 529- 36, 1990.

WANDSCHER, V.F. et al. **Preliminary Results of the Survival and Fracture Load of Roots Restored With Intracanal Posts: Weakened vs Nonweakened Roots.** Operative Dentistry. v. 39, n. 5, p. 541-55, 2014.

WISKOTT, H.W.; NICHOLLS, J.I.; BELSER, U.C. **Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications.** International Journal of Prosthodontics. v. 8, n. 2, p. 105- 16, 1995.

WISKOTT, H.W.; NICHOLLS, J.I.; BELSER, U.C. **The effect of tooth preparation height and diameter on the resistance of complete crowns to fatigue loading.** The International Journal of Prosthodontics. v. 10, p. 207-15, 1997.

ZALKIND, M.; HOCHMAN, N. **Esthetic considerations in restoring endodontically treated teeth with posts and cores.** Journal of Prosthetic Dentistry. v. 79, p. 702-5, 1998.

ZOGHEIB, L.V. et al. **Fracture resistance of weakened roots restored with composite resin and glass fiber post.** Brazilian Dental Journal. v. 19, n. 4, p. 329-33, 2008.

ZOGHEIB, L.V. et al. **Resistance to compression of weakened roots subjected to different root reconstruction protocols.** Journal of Applied Oral Science. v. 19, n. 6, p. 648-54, 2011.