

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Odontologia
Colegiado de Pós-Graduação em Odontologia

Cícero Ferreira Maia

**AVALIAÇÃO DA AMPLIAÇÃO FORAMINAL, CENTRALIZAÇÃO DO
PREPARO APICAL, CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E
FLEXIBILIDADE DE INSTRUMENTOS RECÍPROCANTES RECÍPROC
BLUE R25 E DUAS RÉPLICAS**

Belo Horizonte

2023

Cícero Ferreira Maia

**AVALIAÇÃO DA AMPLIAÇÃO FORAMINAL, CENTRALIZAÇÃO DO
PREPARO APICAL, CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E
FLEXIBILIDADE DE INSTRUMENTOS RECÍPROCANTES RECÍPROC
BLUE R25 E DUAS RÉPLICAS**

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

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cecília Diniz Viana

Belo Horizonte

2023

Ficha Catalográfica

M217a Maia, Cícero Ferreira.
2023 Avaliação da ampliação foraminal, centralização do
T preparo apical, características geométricas e flexibilidade
de instrumentos reciprocantes Reciproc Blue R25 e duas
réplicas / Cícero Ferreira Maia. -- 2023.

123 f. : il.

Orientadora: Ana Cecília Diniz Viana.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de Minas
Gerais, Faculdade de Odontologia.

1. Endodontia. 2. Ápice dentário. 3. Cavidade pulpar. 4.
Microscopia eletrônica de varredura. 5. Instrumentos
odontológicos. I. Viana, Ana Cecília Diniz. II. Universidade
Federal de Minas Gerais. Faculdade de Odontologia. III.
Título.

BLACK - D047



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA AMPLIAÇÃO FORAMINAL, CENTRALIZAÇÃO DO PREPARO APICAL, CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E FLEXIBILIDADE DE INSTRUMENTOS RECIPROCANTES RECIPROC BLUE R25 E DUAS RÉPLICAS

CÍCERO FERREIRA MAIA

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

Aprovada em 22 de setembro de 2023, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Ana Cecília Diniz Viana - Orientadora
Faculdade de Odontologia da UFMG

Profa. Isabella Faria da Cunha Peixoto
Faculdade de Odontologia da UFMG

Prof. Rafael Binato Junqueira
UFJF - GV

Belo Horizonte, 22 de setembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Binato Junqueira, Usuário Externo**, em 19/10/2023, às 13:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Cecilia Diniz Viana, Professora do Magistério Superior**, em 19/10/2023, às 22:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Isabella Faria da Cunha Peixoto, Professora do Magistério Superior**, em 19/10/2023, às 23:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2728908** e o código CRC **7F5D35C8**.

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha esposa, Thaís, e à minha filha, Lulu, que muito contribuíram e me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me ajudado a superar as dificuldades e a tornar possível a realização dos meus sonhos.

Agradeço o meu irmão, Danilo, que sempre me recebeu muito bem em BH.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Ana Cecília Diniz Viana, por todos os ensinamentos e paciência ao longo do curso.

Agradeço a todos os professores do Mestrado, pela contribuição na minha formação e por todos os aprendizados.

Agradeço as colegas de turma, por toda ajuda e companheirismo.

Agradeço o doutorando Gustavo Campos, pela amizade.

Agradeço o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

RESUMO

Um dos grandes desafios da Endodontia é vencer a grande variabilidade morfológica do sistema de canais radiculares e promover uma adequada desinfecção em toda sua extensão. O transporte do forame apical pode levar a complicações nos procedimentos de limpeza e obturação subsequentes. Esse trabalho se propôs a avaliar por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) as alterações morfológicas, a ampliação e centralização do preparo apical após instrumentação de canais radiculares em dentes extraídos utilizando limas reciprocantes Reciproc Blue R25, e duas de suas réplicas, sistemas NiTi TDK V-File e UnivyOne. Quarenta e oito pré-molares extraídos foram utilizados e divididos em 9 grupos. Cada grupo com 7 canais foi instrumentado com um dos 3 sistemas de limas avaliados e em uma das 3 seguintes situações: comprimentos de trabalho no nível do forame apical (RB0, VF0 e UO0), um milímetro além do forame (RB1, VF1 e UO1) e dois milímetros além do forame (RB2, VF2 e UO2). O estudo também relacionou o comportamento destes instrumentos à sua flexibilidade e características geométricas. Para avaliação de alterações morfológicas do forame apical após a ampliação foraminal, os ápices radiculares dos dentes foram analisados através de Microscopia Eletrônica de Varredura, MEV. A ampliação do forame e a ocorrência de transporte apical foi medida a partir de imagens antes e após o preparo do canal de acordo com as medidas de área e análise de Feret dos forames apicais, utilizando o software ImageJ. As imagens foram avaliadas por 1 examinador previamente treinado e calibrado. Fotos em alta resolução e o software Image J 1.48V foram utilizados para mensuração do comprimento total e diâmetros a cada milímetro da parte ativa dos instrumentos (n=10). A flexibilidade dos instrumentos (n=10) foi aferida através de ensaios de dobramento a 45° utilizando uma máquina de testes (Analgica, Belo Horizonte, MG, Brasil) construída com base na especificação ISO 3630-1 (International Organization for Standardization, 1992). Todos os valores observados foram anotados e a análise estatística foi realizada através do programa SPSS – Statistical Package for the Social Sciences. Foram feitas análises descritivas através das frequências absolutas, média, mediana, desvio padrão e amplitude. O teste de normalidade Shapiro-Wilk foi usado para avaliar a distribuição das variáveis contínuas de acordo com os grupos e sistemas de limas analisados. Para as variáveis com distribuição normal foram realizados os testes ANOVA one-way com pós-teste de Tukey e teste T pareado. Para as variáveis com distribuição não-normal foram realizados os testes Kruskal-Wallis com pós-teste Dunn e teste Wilcoxon. Para todos os testes, foi considerado um nível de significância de 5%. Os resultados mostraram que, em relação à ampliação foraminal, todos canais apresentaram um aumento da área final dos forames em comparação à área inicial, sem diferença estatística entre os sistemas de instrumentos e comprimentos de trabalho avaliados. Não foi encontrada diferença na Relação de Feret obtida para os grupos, tanto antes quanto após a instrumentação, demonstrando que não houve transporte apical significativo em nenhuma das situações avaliadas. O sistema de limas Reciproc Blue apresentou menor diâmetro nas medidas de diâmetro D1, quando comparado ao sistema de limas V-File (P = 0,021), e nas medidas D3 e D4, quando comparado ao sistema de limas Univy One (P = 0,039 e P = 0,017, respectivamente). Nos testes de flexibilidade, o sistema Univy One mostrou-se mais flexível e o V-File menos flexível (P<0,001). O estudo concluiu que apesar de os sistemas Reciproc Blue e suas réplicas não serem iguais em termos de geometria e

flexibilidade, não houve diferença entre eles quanto à ampliação foraminal e transporte apical, em nenhuma das situações avaliadas.

Palavras-chave: ampliação foraminal; ápice dentário; endodontia; microscopia eletrônica de varredura; instrumentos reciprocantes.

ABSTRACT

Evaluation of foraminal enlargement, centralization of the apical preparation, geometric characteristics and flexibility of reciprocating instruments Reciproc Blue R25 and two replicas

One of the biggest challenges in Endodontics is to overcome the great morphological variability of the root canal system and promote an adequate disinfection in all its extension. Transport of the apical foramen can lead to complications in subsequent cleaning and obturation procedures. This work aimed to evaluate, by means of Scanning Electron Microscopy (SEM), the morphological alterations, and the enlargement and centralization of the apical preparation after instrumentation of root canals in extracted teeth using Reciproc Blue R25 reciprocating files, and two of its replicas, systems NiTi TDK V-File and UnivyOne. Forty-eight extracted premolars were used and divided into 9 groups. Each group with 7 canals was instrumented with one of the 3 file systems evaluated and in one of the 3 following situations: working lengths in the foramen (RB0, VF0 and UO0), one millimeter beyond the foramen (RB1, VF1 and UO1) and two millimeters beyond the foramen (RB2, VF2 and UO2). The study also related the behavior of these instruments to their flexibility and geometric characteristics. To evaluate the morphological alterations of the apical foramen after foraminal enlargement, the root apices of the teeth were analyzed using Scanning Electron Microscopy, SEM. The enlargement of the foramen and the occurrence of apical transport was measured from images before and after canal preparation according to area measurements and Feret analysis of the apical foramen using ImageJ software. The images were evaluated by 1 previously trained and calibrated examiner. High resolution photos and the Image J 1.48V software were used to measure the total length and diameters at each millimeter of the active part of the instruments (n=10). The flexibility of the instruments (n=10) was checked through bending tests at 45° using a testing machine (Analógica, Belo Horizonte, MG, Brazil) built based on the ISO 3630-1 specification (International Organization for Standardization, 1992). All observed values were noted down and the statistical analysis was performed using the SPSS – Statistical Package for the Social Sciences program. Descriptive analyzes were performed using absolute, mean, median, standard deviation and amplitude frequencies. The Shapiro-Wilk normality test was used to evaluate the distribution of continuous variables according to the groups and file systems analyzed. For variables with normal distribution, one-way ANOVA with Tukey's post-test and paired t test were performed. For variables with non-normal distribution, Kruskal-Wallis tests were performed with Dunn post-test and Wilcoxon test. For all tests, a significance level of 5% was considered. The results showed that, regarding foraminal enlargement, all canals showed an increase in the final area compared to the initial area, with no statistical difference between the instrument systems and working lengths evaluated. No difference was found in the Feret Ratio obtained for the groups, both before and after instrumentation, demonstrating that there was no significant apical transport in any of the evaluated situations. Reciproc Blue file system had a smaller diameter in the D1 diameter measurements, when compared to the V-File file system (P = 0.021), and in the D3 and D4 measurements,

when compared to the Univy One file system ($P = 0.039$ and $P = 0.017$, respectively). In the flexibility tests, the Univy One system was more flexible and the V-File less flexible ($P < 0.001$). The study concluded that although the Reciproc Blue systems and their replicas are not the same in terms of geometry and flexibility, there was no difference between them in terms of foraminal enlargement and apical transport, in any of the evaluated situations.

Keywords: foraminal enlargement; tooth apex; endodontics; scanning electron microscopy; reciprocating instruments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	MEV Inspect S50	38
Figura 2-	Dentes na cuba ultrassônica	39
Figura 3-	SPI Module (metalização previamente ao MEV)	39
Figura 4-	Exemplo das medições realizadas nos forames apicais. Foram medidas as áreas e a relação de Feret antes e após a instrumentação dos canais	40
Figura 5-	Limas utilizadas no presente estudo: (a) Reciproc Blue - RB, (b) TDK V-File – VF, e (c) Univy One - UO	41
Figura 6-	Exemplo da mensuração de diâmetro dos instrumentos de D1 a D6, utilizando o programa ImageJ.	43
Figura 7-	Posicionamento correto do instrumento na Máquina de Testes em Bancada durante os ensaios de dobramento, (a) desenho esquemático da especificação ISO 3630-1 e (b) bancada de testes	44
Figura 8-	Imagens tiradas durante o teste de flexão a 45°. Imagem da esquerda no início do teste, imagem da direita no final do dobramento	44
Figura 9-	Figuras da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e figuras da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação, em situações em que o comprimento de trabalho foi igual ao comprimento de patência	49
Figura 10-	Figuras da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e figuras da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação, em situações em que o comprimento de trabalho ultrapassou 1mm em relação ao comprimento de patência	51
Figura 11-	Fotos da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e fotos da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação com o sistema Reciproc Blue na situação em que o comprimento de trabalho ultrapassou 2mm em relação ao comprimento de patência (aumentos de 50x e 150x)	55

Figura 12- Fotos da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e fotos da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação com o sistema TDK V-File na situação em que o comprimento de trabalho ultrapassou 2mm em relação ao comprimento de patência (aumentos de 50x e 150x) 56

Figura 13- Fotos da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e fotos da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação com o sistema Univy One na situação em que o comprimento de trabalho ultrapassou 2mm em relação ao comprimento de patência (aumentos de 50x e 150x) 57

Figura 14- Imagens de microscopia eletrônica de varredura do RB e instrumentos réplicas mostrando (de cima para baixo) a parte ativa dos instrumentos - MEV (70x); a ponta dos instrumentos - MEV (400x); as bordas cortantes dos instrumentos demonstrando características de acabamento superficial - MEV (1000x); a seção transversal dos instrumentos a 3 mm da ponta – MEV (1000x) 59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Mensuração de D1 a D6 dos instrumentos Reciproc Blue	60
Gráfico 2 - Mensuração de D1 a D6 dos instrumentos TDK V-File	61
Gráfico 3 - Mensuração de D1 a D6 dos instrumentos UnivyOne	61
Gráfico 4 - Curva de dobramento a 45° antes e após o carregamento das limas Reciproc Blue	64
Gráfico 5 - Curva de dobramento a 45° antes e após o carregamento das limas TDK V-File	64
Gráfico 6 - Curva de dobramento a 45° antes e após o carregamento das limas UnivyOne	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Comparação dos comprimentos iniciais horizontais e verticais dos forames entre os grupos	46
Tabela 2-	Comparação da área inicial e final em cada grupo	47
Tabela 3-	Comparação da área inicial e final em cada sistema de limas	47
Tabela 4-	Comparação da diferença de área entre os sistemas de limas	48
Tabela 5-	Comparação entre as médias das áreas dos forames antes e após a instrumentação no comprimento de patência entre os três grupos de instrumentos avaliados	49
Tabela 6-	Comparação da Relação de Feret inicial e final entre os grupos para canais instrumentados na medida do comprimento de patência do canal	50
Tabela 7-	Comparação da área inicial e final entre os grupos para canais instrumentados 1mm além da medida do comprimento de patência do canal	53
Tabela 8-	Comparação da Relação de Feret inicial e final entre os grupos para canais instrumentados 1mm além da medida do comprimento de patência do canal	54
Tabela 9-	Comparação da área inicial e final entre os grupos para canais instrumentados 2mm além da medida do comprimento de patência do canal	58
Tabela 10-	Comparação da Relação de Feret inicial e final entre os grupos de acordo com o nível de instrumentação	58
Tabela 11-	Comparação do diâmetro das limas em seis segmentos entre os sistemas avaliados	62
Tabela 12-	Comparação da flexibilidade dos sistemas de limas	63
Tabela 13-	Comparação do tempo de preparo entre os sistemas de limas	65
Tabela 14-	Comparação do tempo de preparo entre os grupos de acordo com nível de preparo	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDR Comprimento do Dente na Radiografia

CPC Comprimento de Patência do Canal

CT Comprimento de Trabalho

DSC Calorimetria Exploratória Diferencial

DRX Difração de Raios X

EDS Espectroscopia de Energia de Raios-X

EMF Efeito de Memória de Forma

IAI Instrumento Apical Inicial

MD Momento de Dobramento

MEV Microscopia Eletrônica de Varredura

NiTi Níquel-Titânio

SCR Sistema de Canais Radiculares

SE Superelasticidade

Taper Conicidade do Instrumento

Tip Tamanho da Ponta do Instrumento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivos gerais	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	Ampliação foraminal	23
3.2	Reciproc Blue	27
3.3	Réplicas	32
4	METODOLOGIA	36
4.1	Avaliação de alterações morfológicas do forame apical	36
4.1.1	Preparo dos dentes	36
4.1.2	Análise da ampliação dos forames e do transporte apical	38
4.2	Caracterização dos instrumentos avaliados	41
4.2.1	Caracterização geométrica	41
4.2.2	Caracterização da flexibilidade	43
4.3	Análise estatística	45
5	RESULTADOS	46
5.1	Avaliação de alterações morfológicas do forame apical	46

5.1.1	Instrumentação com comprimento de trabalho igual ao comprimento de patência	48
5.1.2	Instrumentação com comprimento de trabalho ultrapassando 1mm em relação ao comprimento de patência do canal	51
5.1.3	Instrumentação com comprimento de trabalho ultrapassando 2mm em relação ao comprimento de patência do canal	54
5.2	Características geométricas e dimensionais dos instrumentos	58
5.3	Análises de flexibilidade	63
5.4	Análise dos tempos de instrumentação dos canais	65
6	DISCUSSÃO	68
7	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICES	81
	ANEXOS	123

1 INTRODUÇÃO

A limpeza e modelagem do sistema de canais radiculares são os principais objetivos do preparo biomecânico, obtidos por meio da eliminação do tecido pulpar, de bactérias e de seus subprodutos, e mediante a formatação de um preparo cônico e sem desvios no trajeto anatômico original (COHEN, 2011; SCHILDER, 1974).

A determinação do comprimento de trabalho (CT) é fundamental na etapa de preparo do canal. O protocolo clássico adotado tem sido o de preconizar que a instrumentação do canal radicular deve ser confinada ao interior do conduto, com o seu término ao nível da junção cimento-dentinária (RICUCCI, 1988; SOUZA, 2006). Entretanto, nos casos de periodontite apical, o entendimento de que há a presença de microrganismos na porção apical do canal e até mesmo na própria lesão (NOIRI *et al.*, 2002; SIGNORETTI *et al.*, 2011) contribuiu para a aceitação da realização de limpeza, desbridamento e alargamento do forame apical (SILVA *et al.*, 2016). Esta abordagem favoreceria a desinfecção do canal radicular e reparo periapical (RICUCCI; SIQUEIRA, 2010).

No entanto, alcançar maiores diâmetros apicais durante o alargamento foraminais pode levar a modificações na anatomia apical (SILVA-SANTOS *et al.*, 2017). O transporte do forame apical pode levar a complicações nos procedimentos de limpeza e obturação subsequentes (RICUCCI *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2016).

A utilização dos instrumentos mecanizados fabricados com níquel-titânio (NiTi) na Odontologia se deu com o intuito de otimizar a instrumentação especialmente em canais curvos, bem como minimizar erros e aumentar a previsibilidade do tratamento endodôntico (PETERS, 2004), na tentativa de superar as limitações encontradas na instrumentação manual com instrumentos fabricados em aço inoxidável. Ao comparar instrumentos fabricados com NiTi e aço inoxidável, foi observado uma flexibilidade duas a três vezes maior em instrumentos de NiTi (WALIA; BRANTLEY; GERSTEIN, 1988). Estes são fabricados em diferentes diâmetros, comprimentos, seções transversais e possuem variações de *taper*, gerando preparos com conicidade aumentada e uniforme.

O emprego dos sistemas de instrumentos de NiTi com cinemática rotatória ou reciprocante modificou conceitos, técnicas e a forma de modelar os canais radiculares. Dentre as propriedades dos instrumentos de NiTi destacam-se: excelente flexibilidade, boa capacidade de corte e resistência à fratura (BERUTTI *et al.*, 2003; BONACCORSO *et al.*, 2008; WALIA; BRANTLEY; GERSTEIN, 1988;). Estas propriedades permitem que o instrumento acompanhe com facilidade a curvatura do canal (PETERS; BARBAKOW; PETERS, 2004). Seu uso possibilita uma formatação favorável e menor possibilidade de transporte do canal durante a instrumentação (SERENE *et al.*, 1995; THOMPSON, 2000), conferindo uma obturação tridimensional e menor tempo de trabalho.

A fim de otimizar o desempenho clínico dos instrumentos, mudanças no *design*, na cinemática de uso e nos tratamentos térmicos e de superfície aplicados à liga são frequentemente observadas (GAVINI *et al.*, 2018). Através dos tratamentos térmicos na liga NiTi, é possível modificar as temperaturas de transformação de fase dos instrumentos, alterando a estrutura cristalina do material estável à temperatura ambiente (CAMPBELL *et al.*, 2014). Isto possibilitou a fabricação de instrumentos mecanizados ainda mais flexíveis que aqueles fabricados com a mesma liga, porém, sem o tratamento térmico (DE-DEUS *et al.*, 2017).

Devido ao seu *design* inovador e aumentada resistência à fratura, o sistema Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha) tornou-se um dos sistemas de preparo de canais radiculares mais utilizados em vários países. Provavelmente devido ao seu comportamento previsível e à sua boa aceitação mundial, vários instrumentos semelhantes foram lançados no mercado. Esses instrumentos foram definidos como “*replica-like*” por apresentarem características semelhantes de *design*, técnica de utilização, codificação por cores e nomenclatura equivalentes. São comercializados por empresas menos conhecidas e a preços mais competitivos, provavelmente para mitigar um dos problemas mais relatados do uso de instrumentos de NiTi segundo os clínicos: o alto custo das marcas originais. Embora réplicas da Reciproc Blue já estejam disponíveis no mercado, atualmente há pouco respaldo científico quanto à padronização de suas características, seu comportamento mecânico, sua eficiência e segurança (MARTINS *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.* 2018, SILVA *et al.*, 2020).

Os sistemas NiTi TDK V- File (TDK, Shenzhen, China) e Univy One (Universo Odonto, São Paulo, Brasil) são réplicas do sistema Reciproc Blue (VDW, Munich, Germany) e até o momento não há estudos na literatura sobre estes sistemas. De acordo com os fabricantes, essas réplicas apresentam secção transversal em formato de S invertido, com duas arestas cortantes, geometria semelhante à do sistema Reciproc Blue. Ambos os sistemas apresentam ponta inativa e contam com três opções de instrumentos: R25, que possui ponta #25 e conicidade apical de 0.08; R40, com ponta #40 e conicidade apical de 0.06; e R50, que apresenta ponta #50 e conicidade de 0.05 nos 4mm da ponta. O sistema Univy One ainda conta com outras duas opções: R20, com ponta #20 e conicidade apical 0.06, e R35, que possui ponta #35 e conicidade apical de 0.06 (UNIVERSOODONTO, 2022).

Apesar de possuírem, de acordo com os fabricantes, características semelhantes de desenho e mesma cinemática de uso, sabidamente eles se diferem em relação ao tratamento térmico aplicado e, portanto, existe a necessidade de comparar instrumentos ditos réplicas com aqueles originais, verificando o desempenho dos mesmos sob testes que simulam o seu comportamento mecânico e uso clínico.

Assim, este trabalho se propôs a avaliar por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) as alterações morfológicas do forame apical, a ampliação e centralização do preparo apical após instrumentação de canais radiculares em dentes extraídos utilizando limas reciprocantes Reciproc Blue e dois sistemas réplicas, sistemas TDK V File e Univy One, além de associar o comportamento destes instrumentos à sua flexibilidade e características geométricas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) as alterações morfológicas do forame apical, a ampliação e centralização do preparo apical após instrumentação de canais radiculares em dentes extraídos utilizando limas reciprocantes Reciproc Blue R25 (VDW, Munich, Germany), e duas de suas réplicas, os sistemas NiTi TDK V-File (TDK, Shenzhen, China), e UnivyOne (Universo Odonto, São Paulo, Brasil). Também relacionou o comportamento destes instrumentos à sua flexibilidade e características geométricas.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar, através de Microscopia Eletrônica de Varredura em imagens obtidas antes da instrumentação e após a instrumentação em dentes extraídos, a ampliação foraminal, centralização dos preparos, a presença de desvios e/ou deformações nos ápices radiculares ocorridos após o preparo biomecânico com cada sistema;
- Comparar se existem diferenças na ocorrência de transporte apical alterando-se o comprimento de trabalho do preparo radicular;
- Caracterizar a geometria e estabilidade dimensional dos instrumentos dos sistemas descritos acima, por meio do diâmetro do instrumento a cada milímetro da parte ativa;
- Observar as características dos instrumentos Reciproc Blue, TDK V-File e Univy One no que diz respeito ao *design* da ponta, bordas cortantes e seção transversal, acabamento superficial e presença de defeitos de usinagem;
- Comparar a flexibilidade das limas dos três sistemas através de ensaios de dobramento a 45°.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A presença de curvaturas é uma ocorrência frequente na dentição humana, caracterizando a complexidade anatômica do sistema de canais radiculares (SCR) e introduzindo fatores na formatação que, se não controlados, levam ao aparecimento de acidentes iatrogênicos como transportes, formação de degraus e até mesmo perfurações (ROANE *et al.*, 1985).

A importância do fator geométrico na instrumentação de canais curvos aumenta quando se considera a presença de curvaturas múltiplas - primária, secundária e terciária, o que torna ainda mais complexa a anatomia do sistema de canais radiculares. Além disto, durante a instrumentação dos canais radiculares, quanto mais abrupta a curvatura, maiores serão as forças contra as paredes do canal (PRUETT *et al.*, 1997).

A anatomia interna do dente impõe limitações ao correto preparo do canal radicular, devido às suas inúmeras variações: achatamentos, istmos, ramificações, presença de curvaturas, etc. Estas variações dificultam não só a correta limpeza dos canais radiculares, mas também propiciam a ocorrência de acidentes como perfurações, degraus, desvios apicais e fraturas de instrumentos endodônticos (GAMBARINI, 2000; LOPES; SIQUEIRA JÚNIOR, 2010; WALIA; BRANTLEY; GERSTEIN, 1988). Muitas vezes, a ocorrência destas iatrogenias podem determinar o insucesso do tratamento.

Um dos grandes desafios da Endodontia é vencer a grande variabilidade morfológica do sistema de canais radiculares e promover uma adequada desinfecção em toda sua extensão. A conduta clássica adotada por muitos endodontistas tem sido a de preconizar que o comprimento de trabalho ideal é em torno de 0,5 a 1 mm aquém do ápice radiográfico radicular, coincidindo com a junção cimento-dentinária. Porém, essa extensão de canal com um diâmetro aproximado de 0,25 mm possui espaço físico suficiente para abrigar muitas bactérias e, portanto, quando não instrumentada e infectada, essa porção tem potencial para levar a um insucesso do tratamento. Em vista disso, estudos mais recentes têm preconizado que o endodontista deva intervir também no forame apical, promovendo a sua limpeza (DE-DEUS *et al.*, 2015; PINHEIRO *et al.*, 2017).

A limpeza do forame é realizada por um instrumento que percorre toda extensão do canal desde um ponto de referência coronário até a abertura foraminal. Essa medida é chamada de patência apical. A necessidade de se atingir o forame é justificada por motivos biológicos e mecânicos. Além disso, a patência apical previne o acúmulo de debris, mantendo o forame desobstruído favorecendo a desinfecção nessa região (PINHEIRO *et al.*, 2017).

O preparo adequado de um conduto até sua obturação final acaba sendo um desafio ao endodontista em função dessa complexidade anatômica. Independentemente do tipo de técnica utilizada, acredita-se que muitas áreas do conduto não são atingidas pelo preparo, sendo difícil avaliar o impacto que tais regiões inacessíveis possam causar no tratamento endodôntico (VERTUCCI, 1984, 2005).

Silva *et al.* (2016) avaliaram a influência do comprimento de trabalho e alargamento foraminal na capacidade de selamento e anatomia da região apical da raiz. Seja a instrumentação realizada 1 mm aquém do forame maior, instrumentação no limite do forame apical ou instrumentação 1 mm além do forame, a análise MEV mostrou que os grupos resultaram em boa obturação do forame apical. Por outro lado, o alargamento do forame resultou em maior desvio apical, embora não tenham sido observadas diferenças na microinfiltração bacteriana entre os grupos experimentais.

Silva-Santos *et al.* (2018) também avaliaram, sob microscopia eletrônica de varredura, o aspecto morfológico do forame apical após a instrumentação do canal radicular com cinemática rotatória (Protaper Universal) e recíprocante (Wave One Primary) em 2 diferentes comprimentos de trabalho: no ápice e 1 mm além do ápice. Deformação foraminal foi observada na instrumentação no ápice e 1 mm além do ápice com ambas as cinemáticas. Os autores concluíram que a instrumentação do canal radicular no ápice ou 1 mm além do ápice promoveu deformação do forame apical, independente da cinemática.

Vieira *et al.* (2020) avaliaram as alterações morfológicas no forame apical e a formação de microfissuras dentinárias após alargamento foraminal em canais radiculares retos e curvos por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microtomografia computadorizada (microCT). Os canais foram instrumentados com instrumentos Reciproc Blue R25 (VDW, Munique, Alemanha) usando procedimentos padronizados de modelagem no forame apical e 1mm além do mesmo. O preparo de

canais radiculares retos e moderadamente curvos com Reciproc Blue, independente do comprimento de trabalho, não influenciou a ocorrência de deformações do forame apical e não causou a formação de microtrincas dentinárias.

A liga Níquel Titânio (NiTi) foi proposta para a fabricação de instrumentos endodônticos por apresentar uma série de propriedades mais favoráveis que o aço inoxidável, tradicionalmente utilizado para este fim. Dentre estas propriedades destacam-se o efeito de memória de forma (EMF), superelasticidade (SE), elevadas flexibilidade e resistência à corrosão, além de sua biocompatibilidade. A estrutura cristalina da liga NiTi estável em altas temperaturas é chamada de fase austenítica. Quando a liga NiTi é resfriada ou recebe uma tensão aplicada, ocorre a transformação de austenita para martensita, chamada transformação martensítica. Essa transformação é reversível acompanhada por uma histerese (diferença entre as temperaturas de transição quando do aquecimento e do resfriamento) e pode ser induzida tanto por uma variação na temperatura ou tensão (PEDULLÀ, 2016; SHEN *et al.*, 2013). Chama-se efeito de memória de forma a capacidade de se recuperar deformações não lineares através de um aquecimento, e superelasticidade é a capacidade de se recuperar deformações com a remoção da tensão (DE-DEUS *et al.*, 2015; LOPES *et al.*, 2010).

Muitos fatores afetam a flexibilidade e a resistência à fratura das limas endodônticas: diâmetro, conicidade, design, método de fabricação, características metalúrgicas da liga e tratamentos térmicos aplicados a ela. Sendo assim, os fabricantes têm proposto variações nas características de *design* e métodos de fabricação para melhorar as propriedades mecânicas e, conseqüentemente, performances clínicas. O *electropolishing* -polimento eletrolítico - é um tratamento aplicado sobre a superfície das limas para remover riscos e defeitos de usinagem, com a justificativa de se melhorar o acabamento superficial e eventualmente minimizar a concentração de tensões e nucleação de trincas de fadiga flexural. Além do polimento eletrolítico e outros tratamentos de superfície, diferentes tratamentos térmicos também foram desenvolvidos com o objetivo de produzir ligas de NiTi com a fase martensítica estável em condições clínicas. Estudos têm demonstrado que tratamentos térmicos aumentaram a porcentagem da fase martensítica (mais flexível que a fase austenítica) ou R-phase (transição entre as 2 fases) presentes à

temperatura ambiente, resultando em melhores propriedades físicas e mecânicas (DE-DEUS *et al.*, 2015; PEDULLÀ, 2016).

Atualmente, há diversos tipos de tratamentos térmicos usados em instrumentos de Níquel-Titânio, entre eles, *Martensite Wire* (M-Wire/ 2007); *R-Phase Niti* (2008); *Controlled Memory Wire* (CM-Wire/ 2010), *Blue Wire* (2011); *Gold Wire* (2014) e *Max-Wire* (2015) (PIRANI *et al.*, 2016; PLOTINO *et al.*, 2017; SHEN *et al.*, 2013; ZUPANC; VAHDAT-PAJOUH; SHAFER, 2018). O objetivo final é produzir instrumentos com maior flexibilidade e maior resistência à fratura comparados àqueles instrumentos fabricados com liga NiTi convencional.

Sistemas de instrumentos de níquel-titânio com lima única, tratadas termicamente, com diferentes métodos de fabricação e cinemática rotatória ou recíproca têm sido cada vez mais utilizados devido à redução do tempo de instrumentação e de erros de procedimento, especialmente em casos complexos (DE-DEUS *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2021).

Mesmo com o melhor desempenho dos sistemas de níquel-titânio rotatórios em relação às limas manuais, o risco de fratura é uma das desvantagens destes sistemas. A cinemática recíprocante foi introduzida para melhorar o desempenho dos instrumentos mecanizados (RODRIGUES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020). O movimento recíprocante é baseado nos movimentos de força balanceada de Roane (ROANE *et al.*, 1985), ou seja, efetuando movimento anti-horário para cortar e movimento horário para libertar as espirais cortantes das paredes dentinárias, sendo o ângulo do primeiro movimento maior que o ângulo do segundo movimento ajudando o instrumento a progredir para apical e reduzindo o risco de travamento dentro do canal, e conseqüentemente o risco de fratura torcional dos instrumentos (MARTINS *et al.*, 2021).

3.1 Ampliação foraminal

Frota *et al.* (2018) avaliaram a quantidade de detritos extruídos apicalmente, a porcentagem de alargamento foraminal e deformação do forame apical que ocorreu durante o preparo do canal radicular com diferentes sistemas recíprocantes: Reciproc, WaveOne e ProDesign R em dois comprimentos de trabalho diferentes: 0,0 e 1,0 mm

além do forame apical. O forame apical de 120 canais radiculares em 60 raízes mesiais de molares inferiores foram fotografados com estereomicroscópio e distribuídos aleatoriamente em quatro grupos: manual, Reciproc, WaveOne e ProDesign R; posteriormente, foram ainda subdivididos de acordo com o comprimento de trabalho (n=15). A extrusão foi analisada determinando o peso dos detritos extrudados. Não foram encontradas diferenças significativas ao analisar cada sistema em diferentes comprimentos de trabalho. Ao considerar cada comprimento de trabalho, Reciproc e WaveOne apresentaram maiores valores de extrusão; para ampliação do forame, diferenças foram observadas apenas para WaveOne, quando utilizado além do forame apical. A deformação do forame apical foi observada em todos os grupos; ProDesign R apresentou os menores valores de deformação do forame em ambos os comprimentos de trabalho. Os autores concluíram que além do limite apical, a liga e a conicidade (*taper*) são aspectos importantes quando se considera extrusão e deformação.

Silva-Santos *et al.* (2018) avaliaram, sob microscopia eletrônica de varredura, o aspecto morfológico do forame apical após a instrumentação do canal radicular com cinemática rotatória (Protaper Universal) e recíproca (WaveOne Primary) em 2 diferentes determinações de comprimento de trabalho. Sessenta raízes mesio-vestibulares de molares inferiores e superiores foram utilizadas neste estudo. As raízes foram divididas em 2 grupos diferentes (n = 30): grupo 1 instrumentado com cinemática rotatória e grupo 2 instrumentado com cinemática recíproca. Ambos os grupos foram instrumentados em 2 comprimentos de trabalho diferentes: no ápice e 1 mm além do ápice. As raízes foram escaneadas após a instrumentação no ápice e novamente após instrumentação adicional 1 mm além do ápice. A deformação foraminal foi observada na instrumentação no ápice e 1 mm além do ápice com ambas as cinemáticas (P < 0,05). Dentro das limitações deste estudo, pode-se concluir que a instrumentação do canal radicular no ápice ou 1 mm além do ápice promoveu deformação do forame maior, independentemente da cinemática.

Albuquerque *et al.* (2020) compararam as técnicas de instrumentação do canal radicular que envolvem alargamento foraminal versus aquelas que não o envolvem, no que diz respeito à extrusão apical do material obturador, usando microtomografia computadorizada (micro-CT). Vinte e dois pré-molares com canais únicos foram instrumentados com o ProTaper Universal System e divididos aleatoriamente em dois

grupos (n = 11): Grupo NFE, sem alargamento foraminal, e Grupo FE, com alargamento foraminal. A instrumentação foi realizada até 1 mm aquém do forame apical, e a patência foraminal foi mantida a cada troca de instrumento em ambos os grupos. Antes da obturação, a porção apical dos espécimes foi envolvida em papel adesivo para garantir a separação completa entre o ápice e o material extruído. Os canais foram preenchidos de acordo com a técnica de onda contínua de condensação. O material extruído apicalmente foi coletado e medido usando micro-CT. A extrusão no grupo com ampliação foraminal foi significativamente maior do que no grupo sem alargamento foraminal.

Daou *et al.* (2020) avaliaram sob microscopia eletrônica de varredura o alargamento e a deformação do forame apical de raízes mesio-vestibulares curvas com os sistemas Reciproc Blue (REC Blue; VDW, Munique, Alemanha) e XP-endo Shaper (XPS; FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suíça). Quarenta raízes mesiovestibulares de molares inferiores e superiores apresentando uma curvatura variando de 20 a 40 foram utilizadas neste estudo. Os forames apicais foram inicialmente escaneados com microscópio eletrônico de varredura sob 200x ampliação. Ambos os grupos foram instrumentados no forame. Os forames apicais foram escaneados após o preparo do canal radicular. A área, a circularidade e a proporção dos diâmetros de Feret foram calculadas a partir de cada imagem. A área do forame aumentou significativamente após a modelagem do canal com Reciproc Blue e XPS. A variação da área foi significativamente maior com XPS. No entanto, não houve diferenças significativas na circularidade e na razão dos diâmetros Feret com ambos os instrumentos. O estudo concluiu que nenhum transporte foi encontrado ao usar Reciproc Blue e XPS. A liga de níquel-titânio tratada termicamente não promoveu deformação do forame apical em canais curvos.

Portela *et al.* (2021) avaliaram a percepção da dor, a ingestão de medicamentos para dor e a extrusão do cimento após o tratamento endodôntico em sessão única de dentes assintomáticos com ou sem alargamento foraminal. A correlação entre a extrusão do cimento e a dor também foi investigada. Cento e quarenta dentes necróticos e unirradiculares foram divididos em 2 grupos (n= 70): patência foraminal (FP), em que o tratamento foi realizado até 1 mm aquém do ápice, e alargamento foraminal (FE), em que o tratamento foi realizado até o ápice. Os canais foram instrumentados com limas WaveOne Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça),

irrigados com hipoclorito de sódio 2,5% e obturados pela técnica de cone único e cimento AHPlus (Dentsply Maillefer). Uma escala analógica visual foi usada para registrar a dor 24, 48 e 72 horas e 1 semana após a cirurgia. A presença ou ausência de extrusão do cimento foi registrada. Os níveis de dor foram significativamente maiores para ampliação foraminal do que para patência foraminal em 24 horas; nenhuma diferença foi encontrada em 48 horas. Nenhuma dor foi relatada 72 horas ou 1 semana após a cirurgia em nenhum dos grupos. Embora todos os pacientes que necessitaram de medicação para dor em 24 horas fossem do grupo ampliação foraminal, a diferença entre os grupos não foi estatisticamente significativa. Não houve associação entre dor e extrusão do cimento, ou entre dor e sexo, idade ou tipo de dente. O estudo concluiu que a ampliação foraminal esteve relacionado a maiores níveis de dor 24 horas após a cirurgia e a maiores taxas de extrusão do material obturador; no entanto, não houve associação entre a extrusão do material obturador e a dor pós-operatória.

Schazra *et al.* (2021) avaliaram o efeito do tamanho e conicidade do preparo apical na dor pós-operatória e na cicatrização após o tratamento endodôntico primário. Cento e vinte pacientes com primeiros molares inferiores assintomáticos com evidência radiográfica de patologia periapical foram aleatoriamente designados para 2 grupos, grupo 1 e 2, com base no alargamento apical para 2 e 3 tamanhos maiores do que o instrumento apical inicial (IAI), respectivamente. Cada grupo foi ainda dividido em subgrupos A e B, dependendo do alargamento apical de 4% e 6%, respectivamente. O tratamento endodôntico foi realizado e o alargamento apical final em todos os grupos foi feito da seguinte forma: grupo 1A, 2 tamanhos maiores que o IAI com conicidade de 4%; grupo 1B, 2 tamanhos maiores que o IAI com conicidade de 6%; grupo 2A, 3 tamanhos maiores que o IAI com conicidade de 4%; e grupo 2B, 3 tamanhos maiores que o IAI com conicidade de 6%. A dor pós-operatória foi avaliada em 6, 12, 24, 48 e 72 horas. A avaliação clínica e a mudança na pontuação do PAI nas radiografias foram avaliadas nos acompanhamentos de 3, 6 e 12 meses. Nenhuma diferença significativa na dor pós-operatória foi encontrada. A taxa de sucesso foi menor (57,1%) no grupo 1, subgrupo A, conforme evidenciado pela mudança significativa na pontuação do PAI entre o grupo 1, subgrupo A e o restante dos grupos nos acompanhamentos de 6 e 12 meses. O estudo concluiu que a preparação apical para 2 tamanhos maiores do que o IAI com uma conicidade de 4%

é insuficiente e resulta em taxas de sucesso significativamente mais baixas em comparação com tamanhos de preparação e conicidades maiores.

3.2 Reciproc Blue

O sistema Reciproc Blue apresenta secção transversal em formato de S itálico, com duas arestas cortantes, geometria semelhante à do sistema Reciproc clássico. Ambos os sistemas apresentam ponta inativa, dando maior segurança em relação a formação de degraus e desvios do trajeto original do canal. O sistema Reciproc Blue conta com três opções de instrumentos: R25, que possui ponta #25 e conicidade apical de 0.08; R40, com ponta #40 e conicidade apical de 0.05; e R50, que apresenta ponta #50 e conicidade de 0.05 nos 4mm da ponta (DE-DEUS *et al.*, 2017). Há vários estudos comprovando a eficácia e a padronização das limas Reciproc Blue.

De-Deus *et al.* (2017) compararam a resistência à flexão e fadiga flexural de limas M-Wire Reciproc convencionais e Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha); o padrão de rugosidade e a microdureza das limas também foram avaliados. Os instrumentos Reciproc Blue apresentaram uma vida em fadiga significativamente mais longa e resistência à flexão significativamente menor do que o instrumento Reciproc original. Em relação ao padrão de rugosidade, não houve diferença significativa entre o Reciproc Blue e os instrumentos Reciproc originais, enquanto o Reciproc Blue revelou microdureza significativamente menor do que o instrumento Reciproc original.

Keskin *et al.* (2017) compararam a resistência à fadiga flexural de Reciproc Blue R25 (VDW, Munique, Alemanha) com Reciproc R25 (VDW) e WaveOne Gold Primary (Dentply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Quinze instrumentos de cada sistema foram coletados e testados em um dispositivo de teste dinâmico de fadiga flexural, que possui um canal artificial com um ângulo de curvatura de 60° e um raio de curvatura de 5mm. Todos os instrumentos foram utilizados até que a fratura ocorresse. O tempo até a fratura e os comprimentos dos fragmentos fraturados foram registrados. Reciproc Blue R25 exibiu a maior resistência à fadiga flexural, e os valores de resistência à fadiga de WaveOne Gold Primary foram significativamente maiores do que os de Reciproc R25. Não houve diferença significativa no comprimento médio dos fragmentos fraturados entre os instrumentos. Os instrumentos Reciproc Blue R25

apresentaram resistência à fadiga flexural significativamente maior do que os instrumentos WaveOne Gold e Reciproc R25.

Generali *et al.* (2020) compararam as propriedades mecânicas e características metalúrgicas dos instrumentos Reciproc Blue e Reciproc, novos e usados. Um total de 120 instrumentos Reciproc Blue R25 e Reciproc R25 foram usados. As características geométricas, químicas, mecânicas, térmicas e de composição de fase de limas novas e usadas *ex vivo* foram investigadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia de raios-X (EDS), análise de feixe de íons focalizados (FIB), espectroscopia micro-Raman, metalografia FEG-SEM, difração de raios-X (DRX), calorimetria exploratória diferencial (DSC) e testes de indentação. A degradação induzida pelo uso foi avaliada. Dez instrumentos novos e dez usados por tipo foram utilizados até a fratura em um canal artificial de aço inoxidável (ângulo de curvatura de 60°, raio de 4 mm). A superfície de fratura de cada fragmento foi examinada. A análise MEV revelou microtrincas perto da ponta em ambas as limas após testes de uso *ex vivo*. A imagem FIB e a espectroscopia micro-Raman confirmaram a presença de uma camada de óxido na superfície de Reciproc Blue, que não sofreu afinamento após o uso. Resultados de DRX revelaram uma redução de martensita e fase R em Reciproc Blue após o uso. A análise DSC revelou diferentes temperaturas de transformação para os instrumentos analisados. O Reciproc Blue foi significativamente mais flexível do que o Reciproc para amostras novas e usadas, e eles foram significativamente mais resistentes à fadiga flexural do que o sistema de M-wire. O uso *ex vivo* reduziu a resistência à fadiga de ambas as limas. A resistência à torção de Reciproc e Reciproc Blue não foi reduzida pelo uso simulado. O estudo concluiu que o tratamento térmico de Reciproc Blue resultou em uma estrutura mais fina e com grãos menores que o Reciproc M-wire, o que aumentou sua resistência à fratura e também foi responsável por sua menor dureza e menor módulo de elasticidade. Ambas as limas se mostraram seguras durante o uso *ex vivo* em canais severamente curvos.

Silva *et al.* (2020) avaliaram fadiga flexural e resistência torcional dos instrumentos reciprocantes Reciproc Blue R25 (VDW, Munique, Alemanha), WaveOne Gold Primary (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), ProDesign R (Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, Brasil) e X1 Blue File (MK Life, Porto Alegre, Brasil). Em cada grupo, dez instrumentos foram testados para resistência à

fadiga usando um canal artificial de aço inoxidável (ângulo de curvatura de 80° e raio de 3 mm) e dez instrumentos para sobrecarga torcional de acordo com a norma ISO 3630-1. A superfície dos instrumentos fraturados foi examinada sob microscopia eletrônica de varredura (MEV) com aumento de 250x. X1 Blue File e ProDesign R apresentaram maior resistência à fratura flexural que Reciproc Blue e Wave One Gold. No entanto, não foram encontradas diferenças entre X1 Blue File e ProDesign R. Além disso, Reciproc Blue demonstrou maior tempo até a fratura que WaveOne Gold. A menor resistência torcional e deflexão angular foi observada no grupo ProDesign R. Análises MEV das superfícies fraturadas mostraram uma área de iniciação de trinca e zona de fratura rápida por sobrecarga após teste de fadiga flexural, e marcas de abrasão concêntrica com microvazios no centro de rotação após experimento de fratura por torção. No geral, X1 Blue File e ProDesign R apresentaram maior resistência à fadiga flexural que os instrumentos Reciproc Blue e WaveOne Gold. ProDesign R apresentou os menores valores de resistência à torção e deflexão angular. A análise MEV de todos os instrumentos demonstrou características de falhas típicas em testes de fadiga flexural e sobrecarga torcional.

Kabil *et al.* (2021) avaliaram a capacidade de transporte e centralização de 5 diferentes sistemas de limas rotatórias e reciprocantes, com diferentes propriedades metalúrgicas e tratamentos de superfície, em canais radiculares curvos. Cinquenta canais mesio-vestibulares de molares superiores com uma curvatura de 25 –40 graus foram divididos em 5 grupos experimentais de acordo com o sistema de instrumentação utilizado: ProTaper Next (Dentsply Sirona, York, PA), Reciproc Blue [RCB (VDW, Munique, Alemanha)], Reciproc (VDW), TruNatomy [TRN (Dentsply Sirona)] e XP-endo Shaper (FKG, La Chaux-de-Fonds, Suíça). No geral, Reciproc Blue causou significativamente mais transporte do canal em comparação com as outras limas. Não houve diferenças significativas entre as outras técnicas. O ProTaper Next teve uma capacidade significativamente melhor de permanecer dentro do eixo central do canal radicular em comparação com as técnicas Reciproc e Reciproc Blue. No terço apical, todas as limas causaram transporte apical e capacidade de centralização semelhantes. Nos terços médio e cervical do canal, Reciproc Blue causou transporte do canal significativamente maior do que as outras limas. Todas as limas testadas tiveram capacidade de transporte e centralização semelhantes na porção apical do canal. No entanto, os resultados gerais, e aqueles dos terços médio

e coronal do canal, indicaram que os instrumentos recíprocos resultaram em mais transporte do canal e preparos menos centralizados.

Martins *et al.* (2021) compararam seis instrumentos recíprocos em relação ao seu desenho geométrico, características metalúrgicas, comportamento mecânico e capacidade de preparo de canais radiculares. Um total de 246 novos instrumentos NiTi de 25 mm (41 por grupo) de seis sistemas alternativos (Reciproc, Reciproc Blue, One File, One File Blue, Reverso Silver e WaveOne Gold) foram avaliados através de uma abordagem multimétodo em relação ao seu design usando estereomicroscopia (número de lâminas e ângulo da hélice) e MEV (simetria das lâminas, seção transversal e acabamento superficial), composição de níquel-titânio, temperaturas de transformação de fase, desempenho mecânico (fadiga flexural, resistência à torção e flexão) e área de superfície do canal não preparado em molares mandibulares anatomicamente compatíveis avaliados por micro-CT. Os instrumentos apresentaram semelhanças quanto à composição do metal e área do canal não preparado, enquanto diferenças nas temperaturas de transformação de fase e desenho geométrico (número de lâminas, acabamento superficial e geometria da ponta) foram observadas. No geral, nenhuma diferença foi observada em relação aos valores máximos de torque, enquanto One Files (72 s) e One Files Blue (414 s) tiveram os menores e maiores tempos até a fratura, respectivamente. Deflexão angular semelhante foi observada em instrumentos Reciproc (310°), One File (285°) e Reverso Silver (318°), que foram significativamente menores que Reciproc Blue (492°), One File Blue (456°) e WaveOne Gold (492°). Valores mais baixos de momento de dobramento demonstraram que Reciproc Blue (201,3 gf) foi significativamente mais flexível que os outros instrumentos. Embora houvesse semelhanças na composição do metal e na porcentagem de superfície do canal não preparada, os instrumentos apresentaram diferenças no desenho geométrico geral, nas temperaturas de transformação de fase e nos quatro parâmetros de resistência mecânica (tempo até a fratura, torque máximo, deflexão angular e momento de dobramento na flexão).

Pérez Morales *et al.* (2021) compararam a capacidade de modelagem de WaveOne Gold (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK), Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha), TRUShape (Dentsply Tulsa Dental Specialties), XP -endo Shaper (FKG, La Chaux-de-Fonds, Suíça), iRace (FKG) e TruNatomy (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) na preparação de canais moderadamente curvos e usando

microtomografia computadorizada. Sessenta molares inferiores com 2 canais mesiais foram distribuídos aleatoriamente em 6 grupos de 10 molares e 20 canais por grupo. O estudo concluiu que todas as limas produziram transporte apical semelhante e foram capazes de limpar e moldar canais moderadamente curvos com transporte apical mínimo.

Carvalho *et al.* (2022) avaliaram a capacidade de modelagem de vários sistemas de níquel-titânio tratados termicamente usados para preparar canais radiculares de dentes extraídos com curvatura moderada e severa, através de microtomografia computadorizada. Raízes mesiais curvas de molares inferiores foram selecionadas aleatoriamente e distribuídas em 4 grupos experimentais: R-Motion (RM) 30.04 (RM ; FKG Dentaire), Reciproc Blue (RCB) R25 (RCB; VDW GmbH), HyFlex CM (HFX) 30.04 (HFX; Coltène Whaledent) e XP-endo Shaper tamanho (XPS) 30.01 (XPS; FKG Dentaire). O estudo demonstrou que Reciproc Blue e XPS tiveram medidas de área transversal significativamente maiores, apenas no terço médio, quando comparados com RM e HFX. RM, RCB e XPS tiveram um aumento semelhante nas medidas de comprimento e largura do perímetro dos canais, e HFX teve aumentos médios significativamente menores nos valores de perímetro apenas quando comparados com XPS. RCB e XPS e tiveram aumentos significativamente maiores no volume quando comparados a RM e HFX. A menor espessura de dentina foi observada após o uso de RCB, nas zonas de perigo e segurança.

Seracchiani *et al.* (2022) avaliaram as propriedades mecânicas e metalúrgicas do sistema OneRECI (ColteneMicroMega, Besançon, França), comparando-as com os seguintes instrumentos reciprocantes amplamente difundidos: Reciproc (VDW, Munique, Alemanha), Reciproc Blue (VDW), EdgeOne Fire (EdgeEndo, Albuquerque, NM) e WaveOne Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Um total de 65 limas de níquel-titânio de 5 diferentes sistemas reciprocantes (OneRECI, Reciproc, Reciproc Blue, EdgeOne Fire e WaveOne Gold) foram avaliadas através de um método mecânico e metalúrgico combinado. O desempenho mecânico das limas selecionadas foi avaliado submetendo cada corpo de prova a fadiga flexural e testes de resistência à torção e flexão, enquanto suas propriedades metalúrgicas foram avaliadas analisando a composição da liga NiTi e as temperaturas de transformação de fase por meio DRX e DSC, respectivamente. O DRX mostrou uma composição de liga semelhante para todas as limas testadas, com uma porcentagem de níquel de cerca

de 52% a 53% e uma porcentagem correspondente de titânio de 47% a 48%. A calorimetria exploratória diferencial, embora tenha indicado características martensíticas para todas as limas, mostrou diferenças em termos de temperaturas de transformação de fase. No geral, OneRECI apresentou os melhores desempenhos mecânicos em termos de fadiga flexural, resistência à torção e flexibilidade. As limas Reciproc apresentaram menores flexibilidade e resistência à fadiga flexural, enquanto a EdgeOne Fire apresentou a menor resistência à torção.

3.3 Réplicas

Desde sua introdução há várias décadas, os instrumentos rotatórios e reciprocantes de níquel-titânio são fabricados com padrões de qualidade controlados e distribuídos em todo o mundo por várias empresas conhecidas. Nos últimos anos, no entanto, a tecnologia de produção de sistemas de NiTi popularizou-se e pequenas empresas locais começaram a comercializar novos produtos em todo o mundo, usando ferramentas de comércio eletrônico combinadas com serviços de correio internacional. Consequentemente, duas alternativas aos instrumentos de marca *premium* estão atualmente disponíveis no mercado local ou online: (i) sistemas semelhantes ou réplicas, com mesma codificação de cores e nomenclatura similar (ou equivalente) dos instrumentos, porém comercializados com outro nome e/ou marca (MARTINS *et al.*, 2021), e (ii) sistemas falsificados que são instrumentos de imitação embalados para se parecerem com o produto genuíno (RODRIGUES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020).

Os sistemas de NiTi TDK V-File (TDK, Shenzhen, China) e Univy One (Universo Odonto, São Paulo, Brasil) são réplicas do sistema Reciproc Blue (VDW, Munich, Germany) e até o momento não há estudos na literatura sobre estes sistemas. De acordo com os fabricantes, essas réplicas apresentam secção transversal em formato de S invertido, com duas arestas cortantes, geometria semelhante à do sistema Reciproc Blue. Ambos os sistemas apresentam ponta inativa e contam com três opções de instrumentos: R25, que possui ponta #25 e conicidade apical de 0.08; R40, com ponta #40 e conicidade apical de 0.06; e R50, que apresenta ponta #50 e conicidade de 0.05 nos 4mm da ponta. O sistema Univy One ainda conta com outras

duas opções: R20, com ponta #20 e conicidade apical 0.06, e R35, que possui ponta #35 e conicidade apical de 0.06 (UNIVERSOODONTO, 2022).

Já há na literatura alguns artigos comparando estas limas tradicionais, consolidadas no mercado e na literatura, com as limas consideradas réplicas e com as limas falsificadas. Mas nenhum artigo comparou, até o momento, as limas do presente estudo.

Martins *et al.* (2020a) avaliaram a resistência à fadiga cíclica de 3 instrumentos rotatórios replicalike em comparação com seus sistemas de marca originais usando rotação contínua (ROT) e cinemática de torque reverso (OTR). Os instrumentos rotatórios F1 dos sistemas de marcas originais ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e ProTaper Gold (Dentsply Maillefer) foram comparados com 3 instrumentos réplicas: U-File (Dentmark, Ludhiana, Índia), Super Files (Shenzhen Flydent Medical, Shenzhen, China) e Super Files Blue (Shenzhen Flydent Medical) em relação à resistência à fadiga flexural. No grupo ROT, os instrumentos foram acionados com rotação contínua no sentido horário (300 rpm, 1,5 Ncm), enquanto no grupo OTR, o movimento oscilatório assimétrico foi realizado ajustando a função OTR em 300 rpm e ajustando o limite de torque no nível mínimo usando o motor TriAuto ZX2 (J Morita, Kyoto, Japão). Adicionalmente, a caracterização das ligas metálicas de cada sistema foi realizada por DSC e EDX. Resultados revelaram tempo até a fratura significativamente maior para todos os sistemas rotatórios testados em movimento OTR em comparação com rotação contínua ($P < 0,05$) com um aumento percentual médio variando de 52,1% (ProTaper Gold) a 156,7% (U-File). Os instrumentos *replica-like* mostraram um tempo até a fratura significativamente maior em comparação com os respectivos instrumentos originais da marca em movimento ROT ou OTR. As réplicas apresentaram temperaturas austeníticas superiores às apresentadas pelas marcas originais e uma relação quase equiatômica entre os elementos níquel e titânio. O estudo concluiu que o movimento OTR melhorou significativamente a resistência à fadiga dos sistemas originais e réplicas. As réplicas apresentaram maior resistência à fadiga que os instrumentos originais da marca e maiores temperaturas de transição para a fase austenítica.

Martins *et al.* (2020b) compararam o sistema ProTaper Universal (PTU; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com 6 instrumentos *replica-like* em relação à geometria dos instrumentos, desempenho mecânico e características da liga

Instrumentos rotatórios novos, PTU calibre 20/.07 e 6 sistemas réplicas [EdgeTaper (EdgeEndo, Johnson City, TN)], U-File (Dentmark, Ludhiana, Índia), Go-Taper Universal (Access, Shenzhen, China), Super Files (Flydent, Shenzhen, China), Multitaper (Proclinic Expert, Besançon, França) e Pluri Taper (Bestdent, Shenzhen, China) foram selecionados e avaliados quanto ao seu *design*, desempenho mecânico e características metalúrgicas. Instrumentos réplicas foram semelhantes a PTU em relação ao *design*, torque máximo até a fratura e proporção de elementos de níquel e titânio em sua composição. A microscopia eletrônica de varredura revelou diferenças na geometria da ponta e superfícies de acabamento. O tempo até a fratura de Go-Taper Universal (50,0 segundos) foi semelhante a PTU (44,0 segundos), embora o U-File (63,5 segundos), Edge Taper (87,5 segundos) e Super Files (130 segundos) tenham apresentado valores significativamente mais elevados. O maior torque máximo foi observado no instrumento Super Files, mas nenhuma diferença estatística foi observada entre os outros instrumentos. A deflexão angular de Multitaper (574°) e Pluri Taper (481°) foi superior a PTU (354°). Resultados de DSC mostraram diferenças claras nas temperaturas de transformação entre os instrumentos testados. As temperaturas de início e término da fase R da PTU foram de 11,0 C e 218,0 C, respectivamente. No geral, os instrumentos replicalike foram semelhantes ao PTU em relação à resistência à torção, desenho geométrico e proporções quase equiatômicas de elementos de níquel e titânio. Em 3 dos 4 testes mecânicos, os sistemas EdgeTaper (torque, ângulo de rotação e carga de flexão) e Go-Taper Universal (tempo de fratura, torque e ângulo de rotação) foram semelhantes ao PTU.

Martins *et al.* (2021a) compararam o sistema ProTaper Next (PTN) com um sistema réplica (X-File, TDK, Shenzhen, China) e um sistema falsificado (PTN-CF) em relação ao *design*, metalurgia, desempenho mecânico e capacidade de modelagem dos instrumentos. Foram observadas semelhanças gerais na relação Ni/Ti e torque máximo à fratura, enquanto diferenças foram observadas no *design*, temperaturas de transformação de fase e comportamento mecânico. Os instrumentos falsificados ProTaper Next podem ser considerados como o sistema menos seguro, considerando sua baixa resistência à fadiga flexural. Apesar dessas diferenças, as áreas de superfície do canal não preparadas, obtidas com os sistemas testados, foram semelhantes.

Martins *et al.* (2021b) avaliaram as características, desempenho e segurança dos instrumentos semelhantes a réplicas ProTaper Gold SX (PTG SX). Foi realizada uma pesquisa multimétodo envolvendo a avaliação do desenho geométrico (macro e microscopia eletrônica de varredura), proporções Ti/Ni (EDS), temperaturas de transformação de fase (DSC), resistência à torção e flexibilidade. Para comparar dois instrumentos semelhantes a réplicas, Premium Taper Gold e Go-Taper Flex, com o PTG SX original. Os três instrumentos SX têm nove lâminas de corte com ângulos de hélice de aproximadamente 21°, geometria de lâmina simétrica sem planos radiais, um desenho de seção transversal triangular convexa e proporções atômicas Ti/Ni quase equiatômicas. Diferenças de design foram observadas na geometria da ponta e no acabamento da superfície, que foi mais lisa no Premium Taper Gold e irregular no Go-Taper Flex. Temperaturas de transformação de fase distintas de início (Rs) e final (Rf) da fase R foram observadas entre PTG (Rs ~48°C e Rf ~30°C), Go-Taper Flex (Rs ~43°C e Rf ~25°C) e Premium Taper Gold (Rs ~30°C e Rf ~15°C). Nos testes mecânicos, o Go-Taper Flex apresentou menor torque máximo (média de 0,5 N.cm) e menor flexibilidade (média de 582,2 gf) do que o PTG (média de 0,8 N.cm e 447,1 gf). Não foram observadas diferenças significativas nos testes mecânicos entre Premium Taper Gold e PTG. No geral, os sistemas semelhantes a réplicas testados mostraram características diferentes em comparação com o instrumento PTG SX original.

A ampliação foraminal é uma etapa que vem sendo sugerida para melhorar a limpeza do canal radicular, principalmente em dentes necróticos. No entanto, esta ampliação poderá promover desvio foraminal, comprometendo assim uma adequada obturação e selamento do canal. Desta forma, torna-se interessante uma avaliação da deformação do forame maior utilizando-se três instrumentos recíprocos submetidos a diferentes tratamentos térmicos, em três situações de comprimento de trabalho durante a instrumentação, assim como uma comparação entre a flexibilidade e as características geométricas destes instrumentos.

4 METODOLOGIA

A parte experimental deste estudo foi conduzida nos laboratórios do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais e na clínica de pós-graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais.

4.1 Avaliação de alterações morfológicas do forame apical

4.1.1 Preparo dos dentes:

Para o presente estudo, pré-molares extraídos com indicação terapêutica e conservados em solução de timol 0,1% foram doados pelo Banco de Dentes da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em seres humanos através do parecer CAAE 70687822.0.0000.5149 (ANEXO A).

Todos os dentes foram radiografados por meio de um aparelho de raio-X odontológico modelo Spectro 70X (DabiAtlante, Brasil) com 60 kVp, 10 mA e 0,4 segundos de exposição, para visualização dos condutos radiculares, estabelecimento do raio de curvatura e os comprimentos dos canais na radiografia (CDR). Para cada tomada radiográfica foi utilizado um sensor digital tamanho 2 (Eagle, Dabi Atlante, Brasil). Foram selecionados 48 dentes, totalizando 63 canais, com canais radiculares preservados, forames de saída independentes e raios de curvatura semelhantes. Dentes com raízes supranumerárias, fusionadas, com rizogênese incompleta, que tivessem sido submetidos a tratamento endodôntico anterior, com presença de reabsorções ou fraturas radiculares foram descartados). Os dentes foram limpos utilizando-se curetas de periodontia e ultrassom (DabiAtlante) para remoção de restos de tecidos e cálculos dentais.

As coroas dos dentes foram removidas utilizando disco de carborundum, deixando todos os dentes com aproximadamente 15mm de comprimento radicular. Após realização do acesso coronário, a exploração dos canais foi realizada com limas manuais tipo Kerr #8 e #10 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). O comprimento real do dente ou comprimento de patência (CPC) foi determinado através da

visualização no forame apical da extremidade da lima #10, sob magnificação de 3x. A solução irrigadora de escolha foi o hipoclorito de sódio a 2,5%, com irrigação abundante antes, durante e após a instrumentação.

Após a exploração inicial, os dentes foram separados aleatoriamente, através do aplicativo para celular *Randomize R+*, em 9 grupos (7 canais em cada) de acordo com o sistema de limas de NiTi que foram instrumentados:

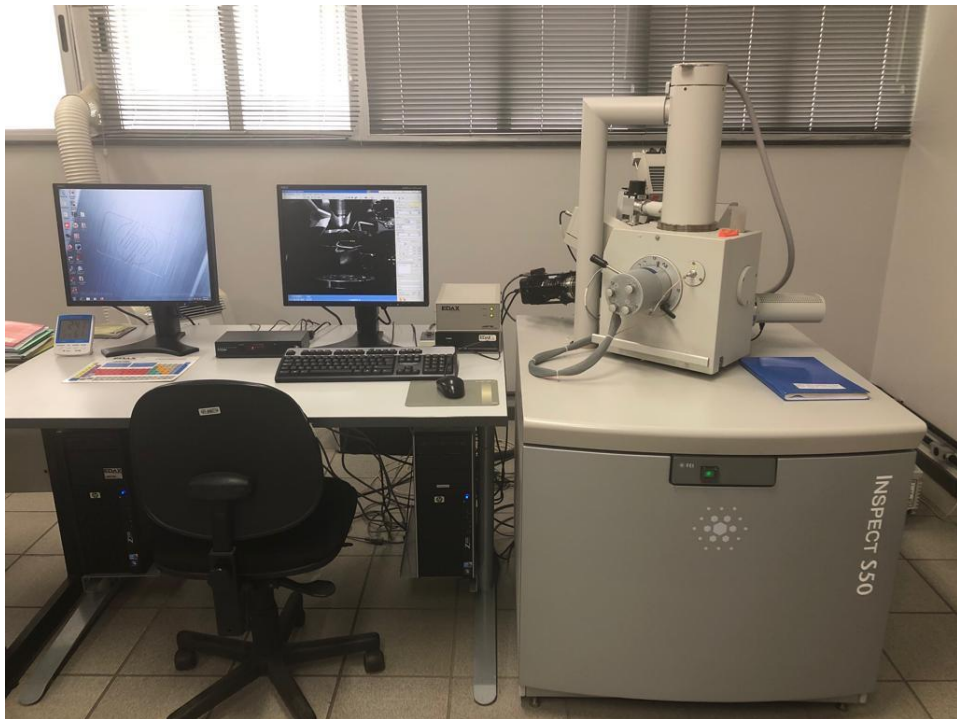
- RB0 – Instrumentação com Sistema Reciproc Blue R25 (VDW, Munich, Germany), com comprimento de trabalho igual ao comprimento de patência;
- RB1 - Instrumentação com Sistema Reciproc Blue R25 com comprimento de trabalho ultrapassando-se 1mm além do comprimento de patência;
- RB2 - Instrumentação com Sistema Reciproc Blue R25 com comprimento de trabalho ultrapassando-se 2mm além do comprimento de patência;
- VF0 – Instrumentação com Sistema TDK V File #25 (TDK, Shenzhen, China) com comprimento de trabalho igual ao comprimento de patência;
- VF1 - Instrumentação com Sistema TDK V File #25 (TDK, Shenzhen, China) com comprimento de trabalho ultrapassando-se 1mm além do comprimento de patência;
- VF2 - Instrumentação com Sistema TDK V File #25 (TDK, Shenzhen, China) com comprimento de trabalho ultrapassando-se 2mm além do comprimento de patência;
- UO0 – Instrumentação com Sistema UnivyOne #25.08 (Universo Odonto, São Paulo, Brasil) com comprimento de trabalho igual ao comprimento de patência;
- UO1 - Instrumentação com Sistema UnivyOne #25.08 (Universo Odonto, São Paulo, Brasil) com comprimento de trabalho ultrapassando-se 1mm além do comprimento de patência.
- UO2 - Instrumentação com Sistema UnivyOne #25.08 (Universo Odonto, São Paulo, Brasil) com comprimento de trabalho ultrapassando-se 2mm além do comprimento de patência.

Os instrumentos reciprocantes foram acionados em motor elétrico X-Smart Plus (Dentsply Sirona Endodontics, Tulsa, OK, EUA) com ajuste no modo “RECIPROC” como preconizado pelos fabricantes. Cada jogo de instrumentos trabalhou em no máximo 3 canais. Após o preparo, foi realizada irrigação com 1mL de EDTA a 17% por 3 minutos e 3ml de solução fisiológica.

4.1.2 Análise da ampliação dos forames e do transporte apical:

Os ápices radiculares dos dentes foram analisados através da Microscopia Eletrônica de Varredura, MEV, (Inspect S50, FEI) (FIGURA 1).

Figura 1- Microscópio eletrônico de varredura Inspect S50



Fonte: Do autor, 2023.

Antes das análises no MEV, todos os dentes passaram por agitação em cuba ultrassônica por 10 minutos para remoção de impurezas (FIGURA 2) imersos em Álcool 70%, seguido de 20 minutos submersos em um recipiente com álcool 70%. Após esta etapa, os dentes foram deixados em uma dessecadora por 2 semanas para diminuir a umidade das raízes.

Figura 2- Dentes na cuba ultrassônica



Fonte: Do autor, 2023.

Em seguida, as raízes foram metalizadas em uma câmara de vácuo (SPI Module) com um período de pulverização catódica (banho de ouro) de 120 segundos (FIGURA 3) como procedimento inicial para exame de microscopia eletrônica de varredura (MEV), antes e após a instrumentação dos canais radiculares.

Figura 3- SPI Module (metalização das amostras antes de serem analisadas em MEV)



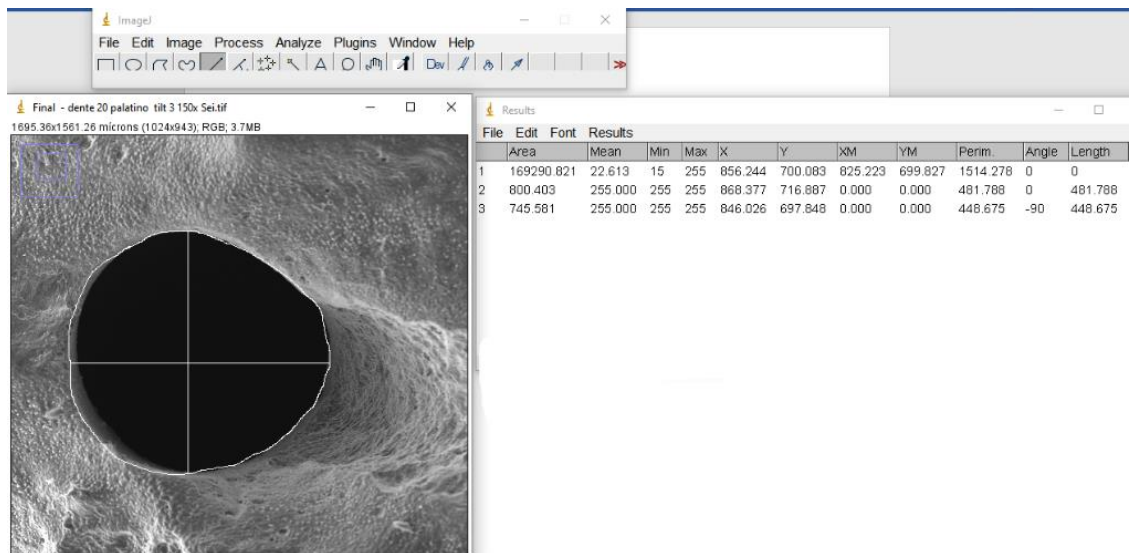
Fonte: Do autor, 2023.

As amostras foram montadas em porta amostras específico, para impedir sua movimentação e permitir que a observação e documentação dos forames fosse feita da forma mais perpendicular possível. Foram utilizados os parâmetros específicos de 15 kV e ampliação $\times 50$ e $\times 150$ para as imagens obtidas antes da instrumentação dos canais. Estas foram posteriormente comparadas com as imagens pós-instrumentação, realizadas com a mesma padronização.

As imagens dos forames antes e após a instrumentação foram mensuradas analisando-se as imagens realizadas no MEV através do software Image J 1.48 (ImageJ; National Institutes of Health, Bethesda, MD). Um avaliador treinado e cego para a atribuição de grupo de cada amostra analisada marcou manualmente o limite do forame apical usando a função de desenho. A área (em μm^2) e os diâmetros do forame apical em suas maiores extensões perpendiculares foram calculados antes e depois da modelagem do canal radicular (FIGURA 4). A quantidade de transporte foi medida a partir das imagens transversais dos diâmetros dos forames antes e após o preparo do canal (diâmetros de Feret). Uma proporção dos diâmetros de Feret foi

calculada como a razão entre o máximo e diâmetro mínimo de Feret, sendo quanto mais próximo de 1, mais circular é considerado o forame e menos transporte apical observado.

Figura 4- Exemplo das medições realizadas nos forames apicais. Foram medidas as áreas e diâmetros dos forames e determinada a relação de Feret antes e após a instrumentação dos canais.



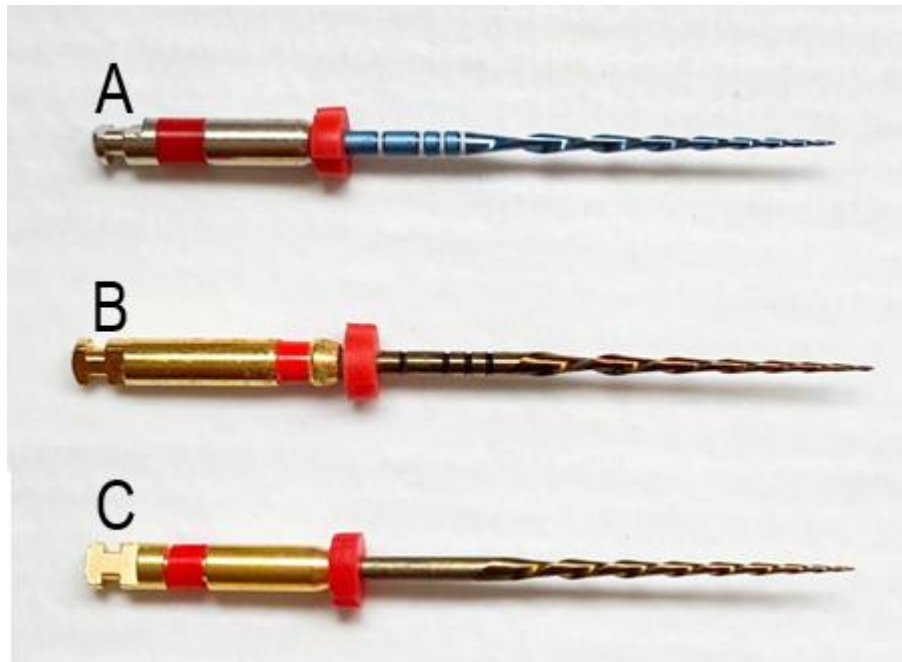
Fonte: Do autor, 2023.

4.2 Caracterização dos instrumentos avaliados

As características geométricas, dimensionais e metalúrgicas dos instrumentos endodônticos têm relação direta com a capacidade destes instrumentos de causarem desgaste dentinário e eventuais transporte ou desvios do preparo. Portanto, foi realizada uma caracterização dos três sistemas utilizados neste estudo, para possibilitar uma posterior correlação com os resultados obtidos de alteração na morfologia dos forames apicais.

Foram avaliados os sistemas recíprocos Reciproc Blue R25 (RB) (VDW, Munique, Alemanha), e duas de suas réplicas, os sistemas NiTi TDK V-File #25 (VF) (TDK, Shenzhen, China), e UnivyOne #25.08 (UO) (Universo Odonto, São Paulo, Brasil) (FIGURA 5).

Figura 5- Limas utilizadas no presente estudo: (A) Reciproc Blue - RB, (B) TDK V- File – VF, e (C) Univy One – UO



Fonte: Do autor, 2023.

4.2.1 Caracterização geométrica

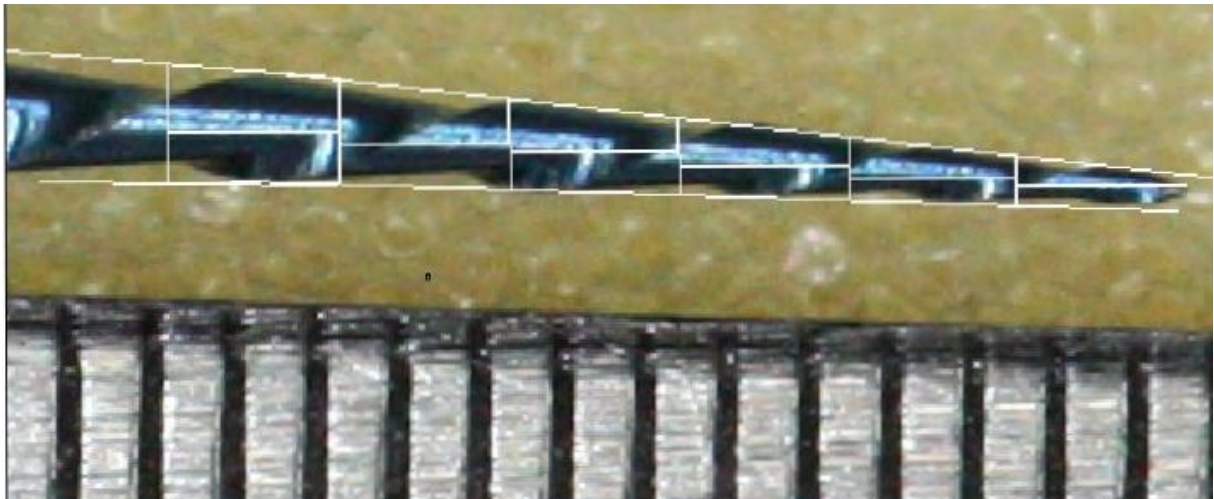
Para a análise das características geométricas das limas, todos os instrumentos foram inspecionados em uma lupa estereoscópica (Wild M8, Alemanha), com aumentos entre 6x e 20x. Durante esta inspeção foi empregado um suporte giratório, onde os instrumentos foram inseridos, posicionados no campo focal do aparelho e girados em 360° para observação.

Esta inspeção tem o intuito de se observar o aspecto superficial e a geometria, em termos de padronização da ponta e ao longo da haste cortante, bem como presença de eventuais defeitos de fabricação. Alguns instrumentos foram selecionados para serem analisados também por microscopia eletrônica de varredura – MEV (JSM 6360, Jeol, Toquio, Japão) da sua ponta e porção apical e da sua área da seção transversal, seccionada a 3mm da ponta dos instrumentos.

Dez instrumentos de cada sistema foram fotografados com uma câmera de alta resolução, com posição e distância focal padronizadas, e seu diâmetro real e comprimento total mensurados, baseando-se na American National Standards

Institute/ American Dental Association Specification N° 101. O software Image J 1.48V (ImageJ; National Institutes of Health, Bethesda, MD) foi utilizado para mensuração dos instrumentos. O comprimento total da parte ativa foi medido traçando uma linha paralela ao longo eixo do instrumento, desde a ponta até a borda da última lâmina de corte. Para as medidas de diâmetro, considerando somente a parte ativa, o ponto mais extremo da borda do instrumento foi delimitado por linhas tangentes paralelas ao eixo longitudinal. Em seguida, linhas perpendiculares, limitadas pelo traçado paralelo descrito anteriormente, foram desenhadas em intervalos de 1 mm da ponta até 6mm da parte ativa, delimitando assim o diâmetro a cada milímetro a partir da ponta (FIGURA 6). Esta parte do estudo teve como objetivo avaliar as características e a uniformidade dimensionais entre instrumentos de mesmo calibre e entre diferentes sistemas comerciais, além de comparar as informações obtidas com aquelas fornecidas pelo fabricante.

Figura 6- Exemplo da mensuração de diâmetro dos instrumentos de D1 a D6, utilizando o programa ImageJ.



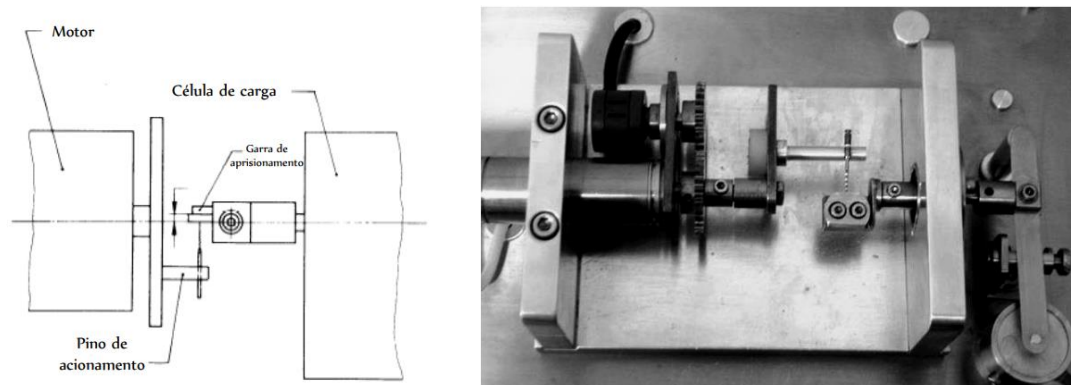
Fonte: Do autor, 2023.

4.2.2 Caracterização da flexibilidade

Para os ensaios de dobramento a 45° dos instrumentos foi utilizada uma máquina de testes (Analógica, Belo Horizonte, MG, Brasil) construída com base na especificação ISO 3630-1 (International Organization for Standardization, 1992). A

ponta de cada instrumento foi introduzida na garra de aprisionamento, de forma perpendicular ao pino de acionamento. Esta garra encontra-se conectada a uma célula de carga e o posicionamento adequado da ponta do instrumento é feito com o auxílio de um batente de 3mm de profundidade usinado na parte inferior da garra. Para o aprisionamento seguro da ponta do instrumento foram utilizadas duas chapas de cobre recozido, de 0.3mm de espessura, posicionadas entre o instrumento e as garras (FIGURA 7).

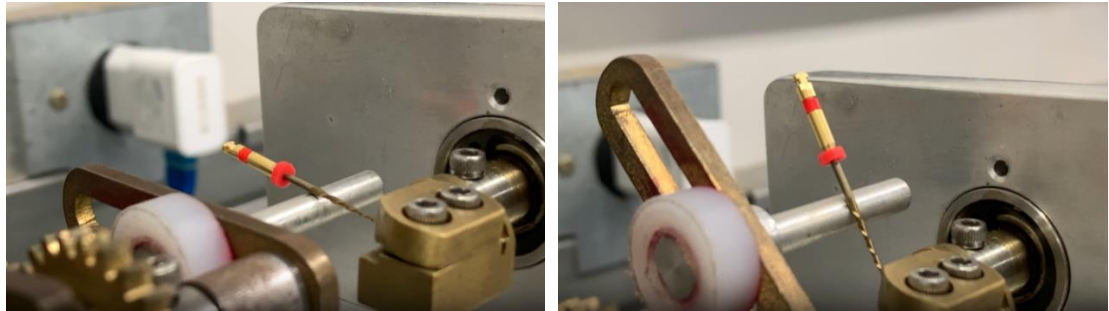
Figura 7- Posicionamento correto do instrumento na Máquina de Testes em Bancada durante os ensaios de dobramento, (a) desenho esquemático da especificação ISO 3630-1 e (b) bancada de testes.



Fonte: Do autor, 2023.

Uma vez posicionados adequadamente na bancada de testes, os instrumentos foram submetidos a uma carga, realizada pelo pino de acionamento, que empurra o instrumento até a posição de 45° em relação a seu longo eixo, e então ocorre a descarga (FIGURA 8). O momento de dobramento (MD) foi determinado diretamente pelo torque necessário para realizar este movimento captado pela célula de carga. O dispositivo de ensaio possui, ainda, um programa responsável pela aquisição e processamento dos dados, especialmente desenvolvido para a comunicação com os instrumentos de leitura.

Figura 8- Imagens tiradas durante o teste de flexão a 45°. Imagem da esquerda no início do teste, imagem da direita no final do dobramento.



Fonte: Do autor, 2023.

Foram realizados testes de dobramento em 10 instrumentos novos de cada sistema de instrumentos recíprocos analisados neste estudo.

4.3 Análise estatística

Todos os valores observados foram anotados e a análise estatística foi realizada através do programa SPSS – Statistical Package for the Social Sciences (versão 21.0 SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Foram realizadas as análises descritivas através das frequências absolutas, média, mediana, desvio padrão e amplitude.

O teste de normalidade Shapiro-Wilk foi usado para avaliar a distribuição das variáveis contínuas de acordo com os grupos e sistemas de limas analisados. Para as variáveis com distribuição normal foram realizados os testes ANOVA *one-way* com pós-teste de Tukey e teste T pareado. Para as variáveis com distribuição não-normal foram realizados os testes Kruskal-Wallis com pós-teste Dunn e teste Wilcoxon. Para todos os testes, foi considerado um nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação de alterações morfológicas do forame apical

Como o trabalho foi realizado com uma amostra randômica dos dentes extraídos, foi realizada inicialmente uma análise estatística para se verificar se haveria reprodutibilidade entre os grupos considerando-se o tamanho inicial dos forames destes dentes. Para tanto, os diâmetros de Feret no comprimento horizontal e no comprimento vertical dos forames foram avaliados. Os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos comprimentos iniciais horizontais e verticais dos forames entre os grupos

Grupo	Comprimento inicial – Horizontal (μm^2)		P	Grupo	Comprimento Inicial – Vertical (μm^2)		P
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]			Média (DP)	Mediana [Min – Max]	
RB0	281,05 ($\pm 110,12$)	249,76 [185,69 – 517,47]	,713 [†]	RB0	209,29 ($\pm 64,30$)	190,42 [145,13 – 307,95]	,941 [†]
RB1	230,14 ($\pm 90,53$)	248,48 [73,39 – 336,20]		RB1	181,14 ($\pm 80,84$)	173,48 [76,48 – 316,24]	
RB2	270,10 ($\pm 113,22$)	275,57 [143,06 – 460,16]		RB2	229,11 ($\pm 93,65$)	261,58 [113,21 – 367,20]	
VF0	220,19 ($\pm 59,91$)	191,05 [153,97 – 300,47]		VF0	213,67 ($\pm 75,88$)	209,59 [125,91 – 355,96]	
VF1	218,98 ($\pm 43,85$)	207,35 [164,45 – 285,41]		VF1	222,34 ($\pm 104,27$)	182,88 [149,63 – 444,51]	
VF2	255,46 ($\pm 65,27$)	238,19 [193,71 – 349,64]		VF2	227,46 ($\pm 82,26$)	194,09 [149,33 – 354,06]	
UO0	251,79 ($\pm 92,83$)	230,48 [124,06 – 391,16]		UO0	246,42 ($\pm 99,21$)	227,59 [159,50 – 460,24]	
UO1	285,03 ($\pm 116,09$)	264,04 [147,31 – 423,95]		UO1	252,19 ($\pm 132,74$)	253,47 [115,68 – 480,06]	
UO2	287,54 ($\pm 63,12$)	259,23 [236,13 – 393,38]		UO2	236,11 ($\pm 83,76$)	264,17 [121,27 – 363,42]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

[†]Kruskal-Wallis.

Fonte: Do autor, 2023.

Considerando o comprimento inicial horizontal e vertical dos forames não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Apesar das variações anatômicas natural dos forames, elas não eram estatisticamente significativas, ou seja, tamanho inicial dos forames era semelhante entre os nove

grupos. Após a instrumentação, de um modo geral, e como esperado, todos os Grupos apresentaram um aumento da área final dos forames em comparação à sua área inicial ($P < 0,05$) (TABELA 2).

Tabela 2 – Comparação da área inicial e final em cada grupo.

Grupo	Área inicial (μm^2)		Área final (μm^2)		P
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	
RB0	55567,86 ($\pm 32206,36$)	46243 [21005 – 102457]	86984,29 ($\pm 27111,34$)	70550 [63585 – 131339]	<,001[†]
RB1	41537,29 ($\pm 19930,94$)	41537 [16362 – 80390]	123954,29 ($\pm 25201,31$)	110984 [102954 – 167119]	<,001[†]
RB2	56066,86 ($\pm 42171,41$)	61592 [13429 – 132526]	170296,00 ($\pm 29487,31$)	169260 [132912 – 221807]	<,001[†]
VF0	40284 ($\pm 14633,92$)	36865 [19111 – 56324]	90180,43 ($\pm 33244,30$)	86741 [46312 – 143916]	,006[†]
VF1	40746,71 ($\pm 19992,06$)	32800 [24989 – 81013]	147794,71 ($\pm 27382,54$)	146229 [113150 – 178391]	,018[‡]
VF2	49460,43 ($\pm 23998,44$)	38683 [23230 – 94156]	186608,07 ($\pm 35111,26$)	162346 [153491 – 232188]	,018[‡]
UO0	51996,29 ($\pm 20409,12$)	47656 [30294 – 82659]	89667,14 ($\pm 13418,08$)	93337 [69792 – 109808]	,001[†]
UO1	56646,71 ($\pm 34823,80$)	51839 [14097 – 114797]	136493,57 ($\pm 27562,26$)	135873 [97246 – 176857]	,001[†]
UO2	72712,00 ($\pm 22774,19$)	72016 [40434 – 113043]	164938,14 ($\pm 3212,77$)	164285 [161194 – 170154]	<,001[†]

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

[†]Teste T pareado; [‡]Wilcoxon. Valores em negrito indicam significância estatística ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor, 2023.

Quando a análise é feita entre os diferentes sistemas de limas, agrupando-se as três situações de comprimentos de trabalho avaliadas, também se observa que após a instrumentação com cada um deles há um aumento significativo nos valores de diâmetro ($P < 0,05$) (TABELA 3). Esta é uma evidência que as limas recíprocantes utilizadas neste estudo atingiram o objetivo de ampliar o forame e, conseqüentemente, realizar uma limpeza adequada.

Tabela 3 – Comparação da área inicial e final em cada sistema de limas.

Sistemas de limas	Área inicial (μm^2)		Área final (μm^2)		P
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	
Reciproc Blue	51057,33 ($\pm 31804,10$)	41889 [13429 – 132526]	127078,19 ($\pm 43493,22$)	123954 [63585 – 221807]	<,001[†]

V-File	43497,14 (± 19381,29)	36630 [19111 – 94156]	141527,90 (± 50736,30)	146229 [46312 – 232188]	<,001 ‡
Univy One	60451,67 (± 26964,20)	60652 [14097 – 114797]	130366,29 (± 36002,67)	135873 [69792 – 176857]	<,001 ‡

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

†Teste T pareado; ‡Wilcoxon. Valores em negrito indicam significância estatística ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor, 2023.

Por outro lado, quando se avalia a diferença de área dos canais, comparando antes e depois da instrumentação (TABELA 4), não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de limas, ou seja, todos eles causaram um aumento na mesma proporção.

Tabela 4 – Comparação da diferença de área entre os sistemas de limas.

Sistemas de limas	Diferença de área (μm^2)		P
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	
Reciproc Blue	76002,76 (± 42494,42)	70050 [17342 – 158529]	,085*
V-File	98030,76 (± 49211,70)	112338 [16443 – 166232]	
Univy One	69914,62 (± 33672,38)	62060 [10678 – 127351]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

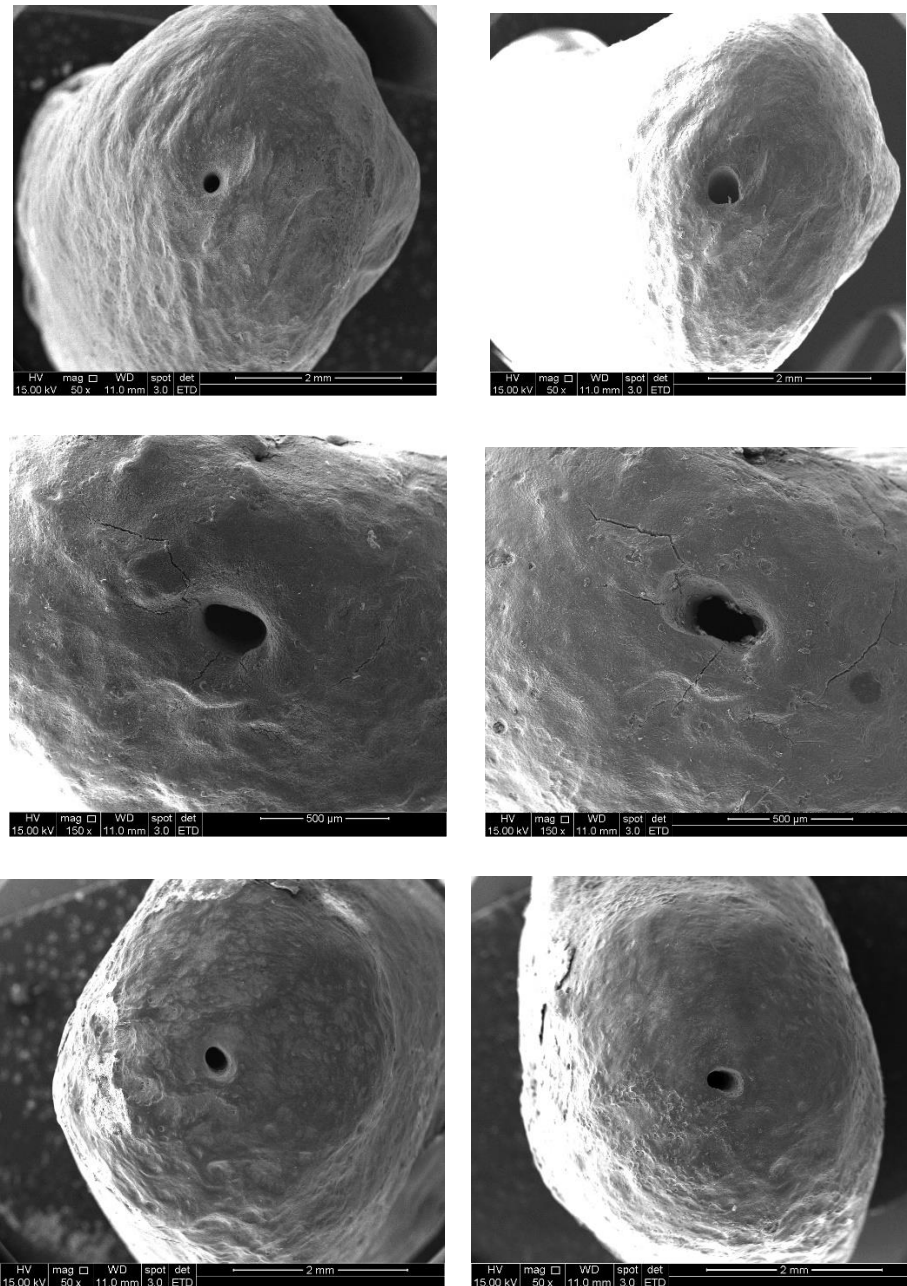
*ANOVA one-way.

Fonte: Do autor, 2023.

5.1.1 Instrumentação com comprimento de trabalho igual ao comprimento de patência

A Figura 9 exemplifica imagens dos forames apicais antes e após a instrumentação dos canais, em situações em que o comprimento de trabalho foi igual ao comprimento de patência.

Figura 9- Figuras da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e figuras da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação, em situações em que o comprimento de trabalho foi igual ao comprimento de patência.



Fonte: Do autor, 2023.

Na Tabela 5 estão sumarizadas as médias das áreas dos forames antes e após a instrumentação no comprimento de patência do canal com os três sistemas avaliados. O maior aumento proporcional de área após o preparo foi causado pelo sistema VF, correspondendo a um aumento de 144% na área do forame após a instrumentação, seguido pelos sistemas RB e UO, com 122% e 91%, respectivamente. As medidas de todas as áreas dos forames, antes e após o preparo dos canais no comprimento de patência estão nos Apêndices A, B e C.

Tabela 5 – Comparação entre as médias das áreas dos forames antes e após a instrumentação no comprimento de patência entre os três grupos de instrumentos avaliados

Grupo	Área inicial (μm^2)		P	Área final (μm^2)		P	
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]		Média (DP)	Mediana [Min – Max]		
0mm	RB0	55567,86 (\pm 32206,36)	46243 [21005 – 102457]	,463*	86984,29 (\pm 27111,34)	70550 [63585 – 131339]	,970*
	VF0	40284 (\pm 14633,92)	36865 [19111 – 56324]		90180,43 (\pm 33244,30)	86741 [46312 – 143916]	
	UO0	51996,29 (\pm 20409,12)	47656 [30294 – 82659]		89667,14 (\pm 13418,08)	93337 [69792 – 109808]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P-valor = Valor de Probabilidade.

*ANOVA one-way; †Kruskal-Wallis.

Fonte: Do autor, 2023.

Os resultados mostraram que não houve diferença estatística no diâmetro inicial dos forames nos três grupos avaliados, demonstrando a semelhança da anatomia dos dentes, independentemente do grupo em que se encontravam, preliminarmente. Considerando a área final dos forames, também não houve diferença estatisticamente significativa entre os Grupos. e isto era um resultado esperado já que todos eles possuem o mesmo diâmetro de ponta.

Na Tabela 6 estão os resultados da Relação de Feret antes e após a instrumentação na medida do comprimento de patência do canal com os três sistemas avaliados. Todas as mensurações, Relação de Feret inicial e final podem ser visualizadas nos Apêndices D, E e F.

Tabela 6 – Comparação da Relação de Feret inicial e final entre os grupos para canais instrumentados na medida do comprimento de patência do canal.

Grupo	Relação de Feret inicial		Relação de Feret final		P	
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	Média (DP)	Mediana [Min – Max]		
0mm	RB0	1,38 (\pm 0,50)	1,24 [1,01 – 2,59]	1,37 (\pm 0,36)	1,19 [0,96 – 1,96]	,605 [‡]
	VF0	1,50 (\pm 0,58)	1,20 [1,01 – 2,33]	1,41 (\pm 0,36)	1,27 [1,08 – 2,02]	
	UO0	1,71 (\pm 0,92)	1,39 [1,06 – 3,71] ,673 [†]	1,65 (\pm 0,73)	1,55 [1,05 – 3,16] ,984 [†]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

[†]Kruskal-Wallis para comparação entre todos os grupos com mesmo comprimento de trabalho; *ANOVA one-way para comparação entre todos os grupos com mesmo comprimento de trabalho; [‡]Wilcoxon para comparação dentro de um mesmo sistema.

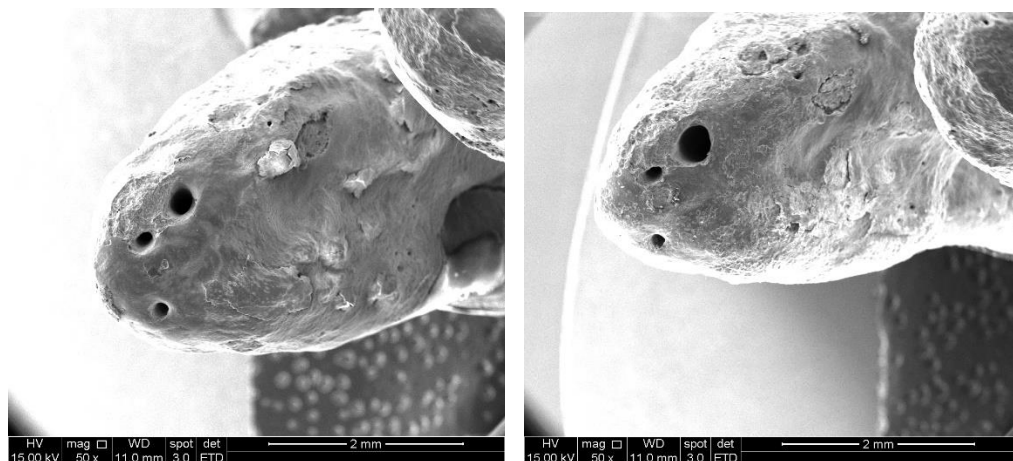
Fonte: Do autor, 2023.

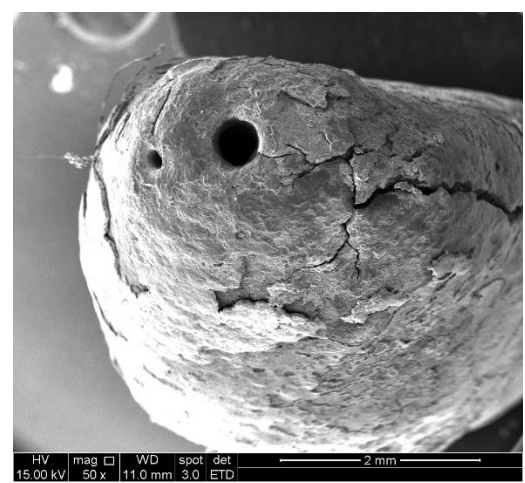
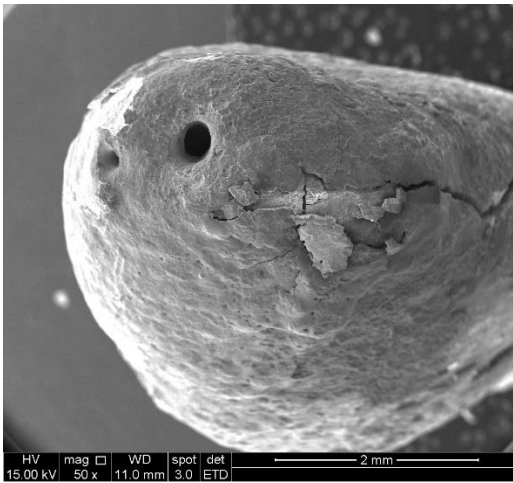
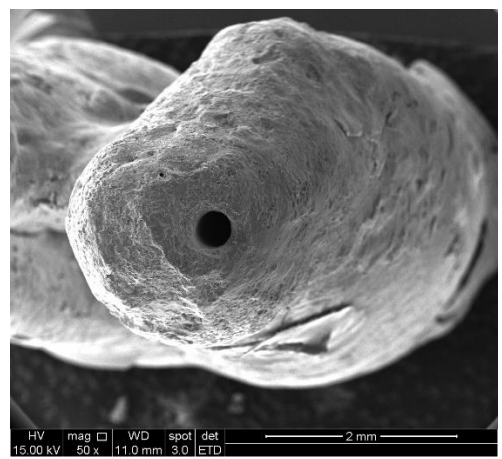
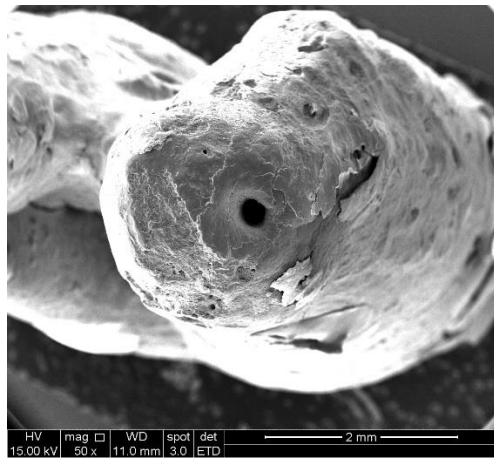
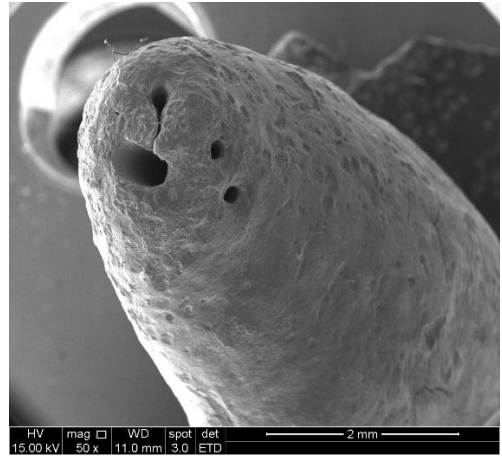
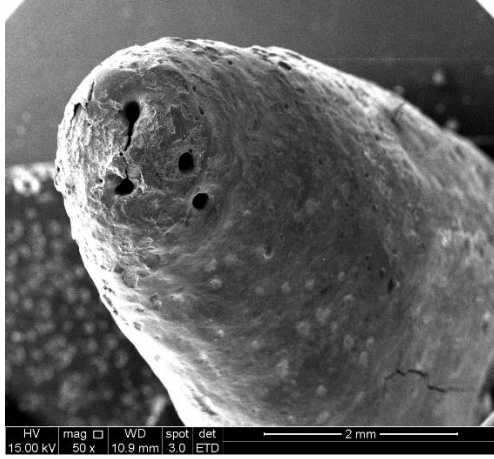
Não foi encontrada diferença estatística entre nenhum dos grupos e isto significa que, para o preparo realizado ao nível do comprimento de patência do canal, embora os forames tenham sido ampliados, eles não sofreram transporte e mantiveram-se em posição e circunferência semelhantes às originais.

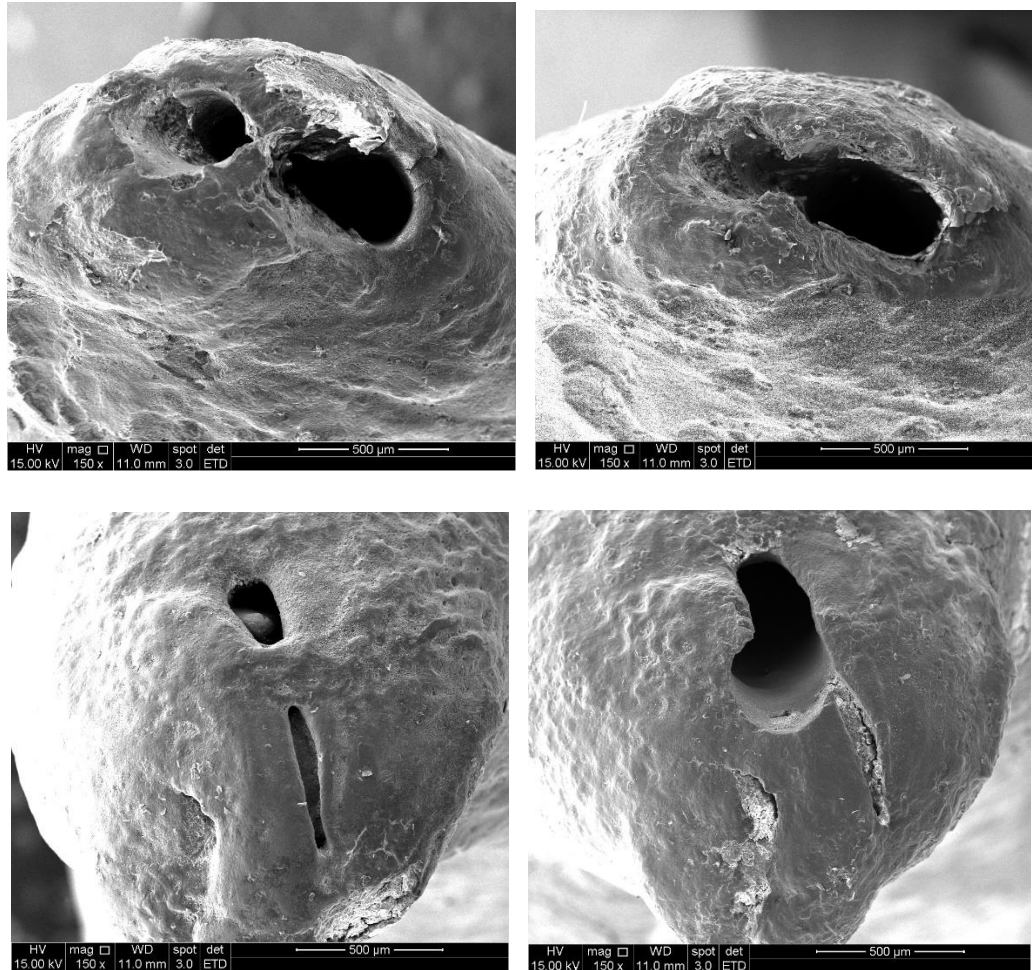
5.1.2 Instrumentação com comprimento de trabalho ultrapassando 1mm em relação ao comprimento de patência do canal

A Figura 10 exemplifica imagens dos forames apicais antes e após a instrumentação dos canais, em situações em que o comprimento de trabalho foi aquele em que a lima ultrapassava 1mm em relação ao comprimento de patência do canal.

Figura 10- Figuras da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e figuras da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação, em situações em que o comprimento de trabalho ultrapassa 1mm em relação ao comprimento de patência.







Fonte: Do autor, 2023.

Pelas imagens apresentadas já é possível perceber um aumento maior da área do forame após o preparo do canal em comparação àquelas imagens após a instrumentação ao nível da patência. A Tabela 7 mostra as médias das áreas dos forames após a instrumentação ultrapassando 1mm em relação ao comprimento de patência com os três sistemas avaliados. As medidas de todas as áreas dos forames, antes e após o preparo dos canais estão nos Apêndices G, H e I.

Tabela 7 – Comparação da área inicial e final entre os grupos para canais instrumentados 1mm além da medida do comprimento de patência do canal

Grupo	Área inicial (μm^2)		P	Área final (μm^2)		P
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]		Média (DP)	Mediana [Min – Max]	
RB1	41537,29 (\pm 19930,94)	41537 [16362 – 80390]	,660 ⁺	123954,29 (\pm 25201,31)	110984 [102954 – 167119]	,274*

+1mm	VF1	40746,71 (± 19992,06)	32800 [24989 – 81013]	147794,71 (± 27382,54)	146229 [113150 – 178391]
	UO1	56646,71 (± 34823,80)	51839 [14097 – 114797]	136493,57 (± 27562,26)	135873 [97246 – 176857]

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P-valor = Valor de Probabilidade.

*ANOVA one-way; †Kruskal-Wallis.

Fonte: Do autor, 2023.

O diâmetro das limas no D1 varia entre os instrumentos, como demonstrado na análise geométrica e observou-se um maior aumento proporcional de área após o preparo causado pelo sistema VF, que tem maior diâmetro em D1, correspondendo a um aumento de 338% na área do forame após a instrumentação, seguido pelos sistemas RB e UO, com 260% e 261%, respectivamente, onde não há diferença no diâmetro D1. A realização da instrumentação 1mm além do forame: tem o objetivo de garantir a patência do canal, aumentando a área de paredes tocadas e conseqüentemente a limpeza do forame. Considerando a área inicial e final dos canais, não houve diferença estatisticamente significativa entre os Grupos, para este nível de instrumentação.

Na Tabela 8 estão os resultados da Relação de Feret antes e após a instrumentação ultrapassando-se 1mm além do comprimento de patência do canal, com os três sistemas avaliados. Todas as mensurações para se estabelecer a Relação de Feret inicial e final podem ser visualizadas nos Anexos J, K e L.

Tabela 8 – Comparação da Relação de Feret inicial e final entre os grupos para canais instrumentados 1mm além da medida do comprimento de patência do canal

Grupo	Relação de Feret inicial		Relação de Feret final		P	
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	Média (DP)	Mediana [Min – Max]		
+1mm	RB1	1,42 (± 0,39)	1,33 [1,01 – 1,94]	1,46 (± 0,27)	1,47 [1,12 – 1,77]	,059 [‡]
	VF1	1,50 (± 0,41)	1,32 [1,14 – 2,28]	1,29 (± 0,18)	1,40 [1,01 – 1,42]	
	UO1	1,71 (± 0,71)	1,53 [1,04 – 2,92]	1,33 (± 0,30)	1,30 [1,02 – 1,81]	
			,703*		,361 [†]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

[†]Kruskal-Wallis para comparação entre todos os grupos com mesmo comprimento de trabalho; *ANOVA one-way para comparação entre todos os grupos com mesmo comprimento de trabalho; [‡]Wilcoxon para comparação dentro de um mesmo sistema.

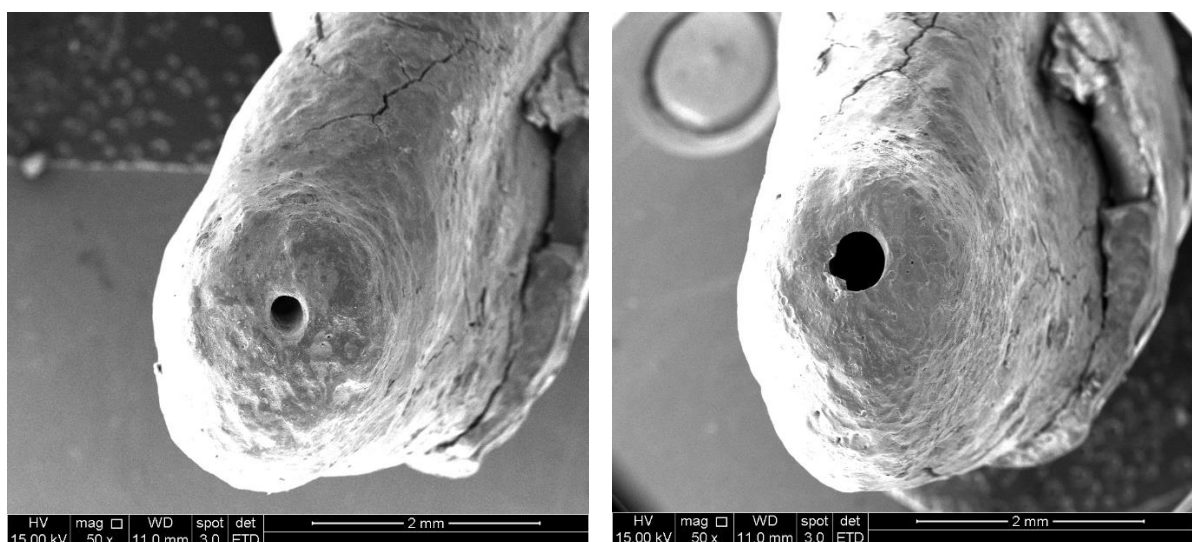
Fonte: Do autor, 2023.

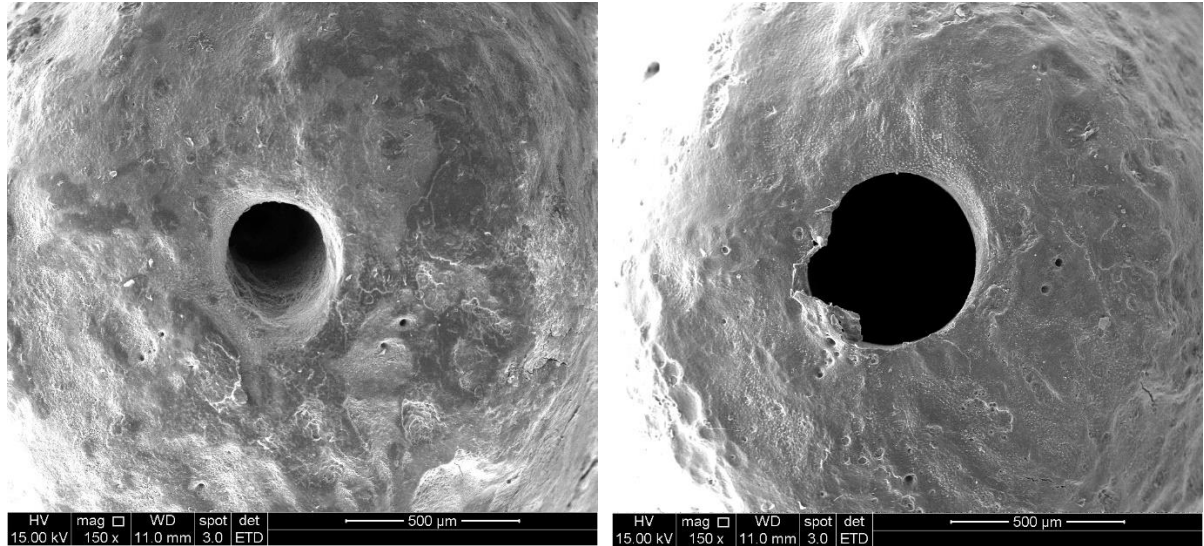
Considerando-se a Relação de Feret inicial, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os grupos, mostrando mais uma vez a semelhança anatômica inicial entre eles. Os resultados mostram que considerando a Relação de Feret inicial e final para cada um dos grupos, também não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre eles, o que mostra que a sobreinstrumentação de 1mm além do forame apical não levou a transporte apical significativo causado por nenhum dos sistemas recíprocos avaliados.

5.1.3 Instrumentação com comprimento de trabalho ultrapassando 2mm em relação ao comprimento de patência do canal

Imagens dos forames apicais antes e após a instrumentação dos canais, em situações em que o comprimento de trabalho foi aquele em que a lima ultrapassava 2mm em relação ao comprimento de patência do canal são mostradas na Figuras 11, 12 e 13.

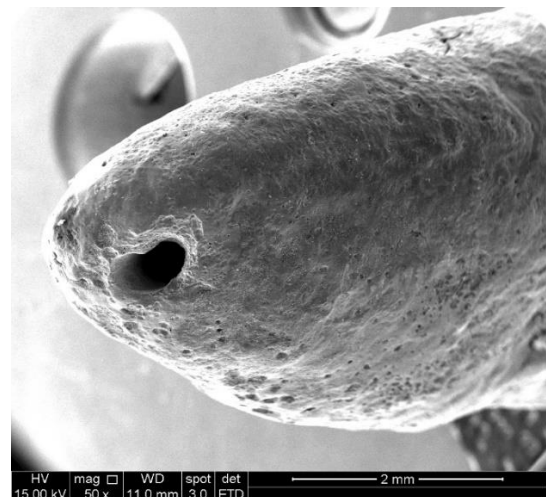
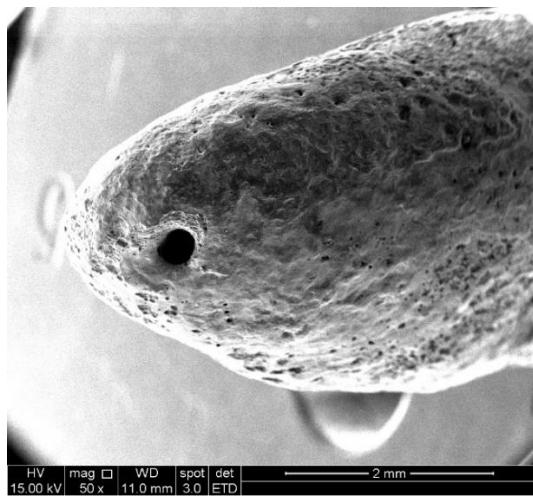
Figura 11- Fotos da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e fotos da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação com o sistema Reciproc Blue na situação em que o comprimento de trabalho ultrapassou 2mm em relação ao comprimento de patência (aumentos de 50x e 150x).

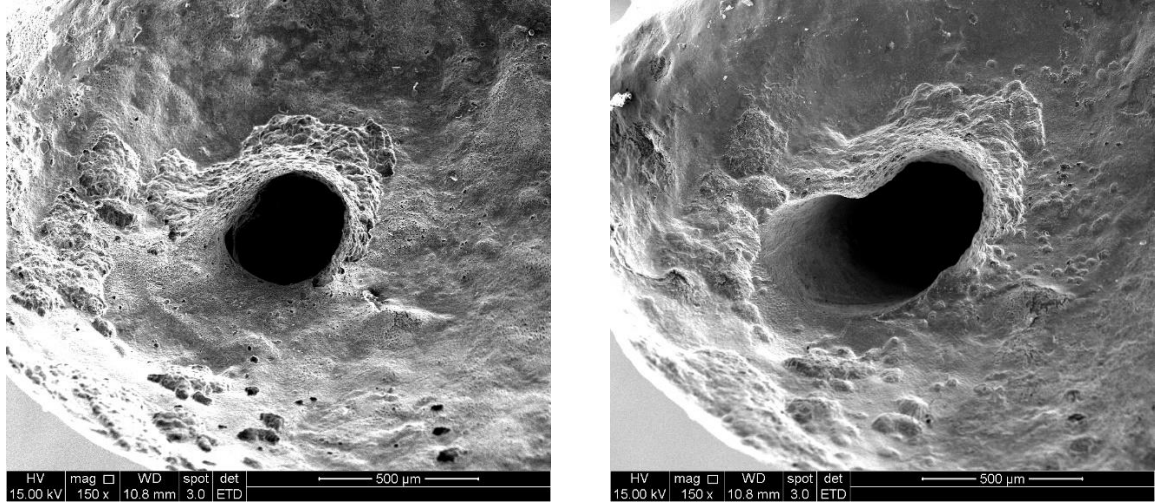




Fonte: Do autor, 2023.

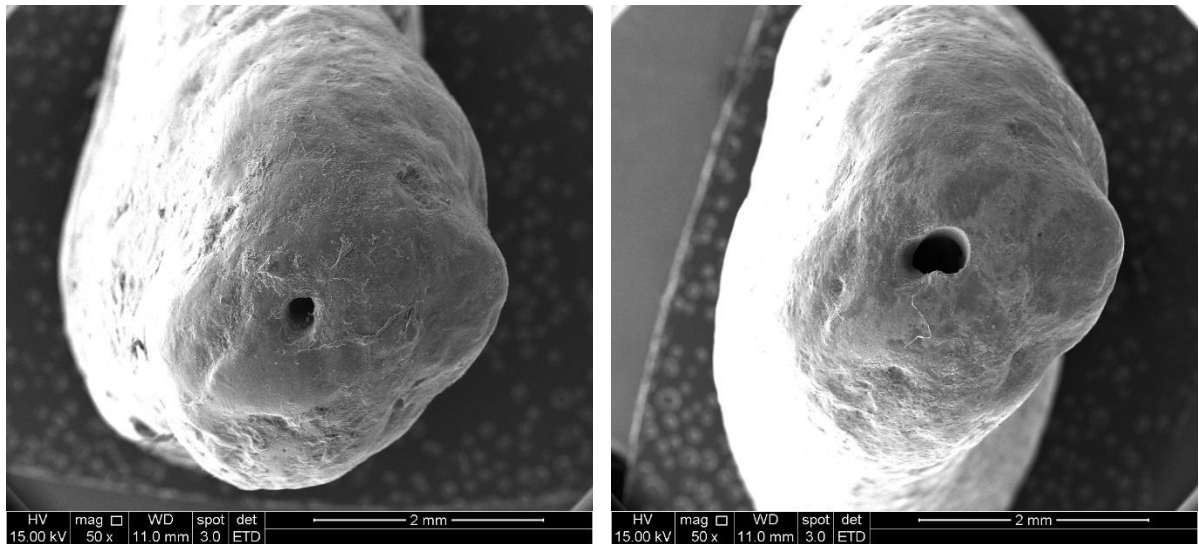
Figura 12- Fotos da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e fotos da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação com o sistema TDK V-File na situação em que o comprimento de trabalho ultrapassou 2mm em relação ao comprimento de patência (aumentos de 50x e 150x).

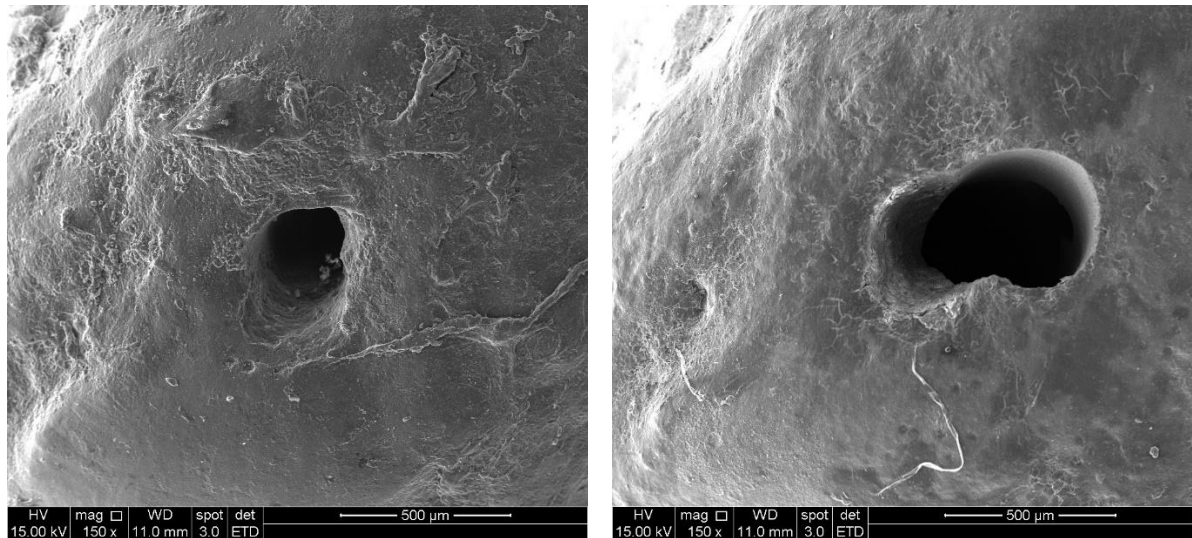




Fonte: Do autor, 2023.

Figura 13- Fotos da esquerda representam imagens dos forames apicais antes da instrumentação e fotos da direita representam imagens dos forames apicais após a instrumentação com o sistema Univy One na situação em que o comprimento de trabalho ultrapassou 2mm em relação ao comprimento de patência (aumentos de 50x e 150x).





Fonte: Do autor, 2023.

Na Tabela 9 estão as médias das áreas dos forames após a instrumentação ultrapassando 2mm em relação ao comprimento de patência do canal com os três sistemas avaliados. O diâmetro das limas no D2 não varia, como demonstrado na análise geométrica do nosso estudo, entretanto o sistema Reciproc Blue foi o que apresentou maior porcentagem de aumento da área do forame após a instrumentação (399%), seguido pelos instrumentos TDK V-File (327%) e Univy One (158%). Esse aumento expressivo na porcentagem da área do forame justifica a ideia de se realizar a instrumentação 2mm além do forame: conseguir ampliar exponencialmente a área preparada, sem a necessidade de se incluir mais um instrumento na sequência de instrumentação. As medidas de todas as áreas dos forames, antes e após o preparo dos canais estão nos Anexos M, N e O.

Tabela 9 – Comparação da área inicial e final entre os grupos para canais instrumentados 2mm além da medida do comprimento de patência do canal.

Grupo	Área inicial (μm^2)		P	Área final (μm^2)		P	
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]		Média (DP)	Mediana [Min – Max]		
+ 2mm	RB2	56066,86 (\pm 42171,41)	61592 [13429 – 132526]	,371*	170296,00 (\pm 29487,31)	169260 [132912 – 221807]	,925 [†]
	VF2	49460,43 (\pm 23998,44)	38683 [23230 – 94156]		186608,07 (\pm 35111,26)	162346 [153491 – 232188]	
	UO2	72712,00 (\pm 22774,19)	72016 [40434 – 113043]		164938,14 (\pm 3212,77)	164285 [161194 – 170154]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P-valor = Valor de Probabilidade.

*ANOVA one-way; [†]Kruskal-Wallis.

Fonte: Do autor, 2023.

Na Tabela 10 estão os resultados da Relação de Feret antes e após a instrumentação a +2mm com os três sistemas avaliados. Todas as mensurações, Relação de Feret inicial e final podem ser visualizadas nos Anexos P, Q e R.

Tabela 10 – Comparação da Relação de Feret inicial e final entre os grupos de acordo com o nível de instrumentação.

Grupo	Relação de Feret inicial		Relação de Feret final		P	
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	Média (DP)	Mediana [Min – Max]		
+ 2mm	RB2	1,19 (± 0,13)	1,24 [1,00 – 1,35]	1,25 (± 0,29)	1,11 [1,03 – 1,85]	,476 [‡]
	VF2	1,39 (± 0,30)	1,29 [1,05 – 1,80]	1,24 (± 0,26)	1,15 [1,01 – 1,71]	
	UO2	1,39 (± 0,53)	1,14 [0,89 – 2,26]	1,21 (± 0,14)	1,18 [1,05 – 1,45]	
			,478 [*]		,932 [†]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

[†]Kruskal-Wallis para comparação entre todos os grupos com mesmo comprimento de trabalho; ^{*}ANOVA one-way para comparação entre todos os grupos com mesmo comprimento de trabalho; [‡]Teste T pareado para comparação inicial e final dentro dos grupos com mesmo comprimento de trabalho.

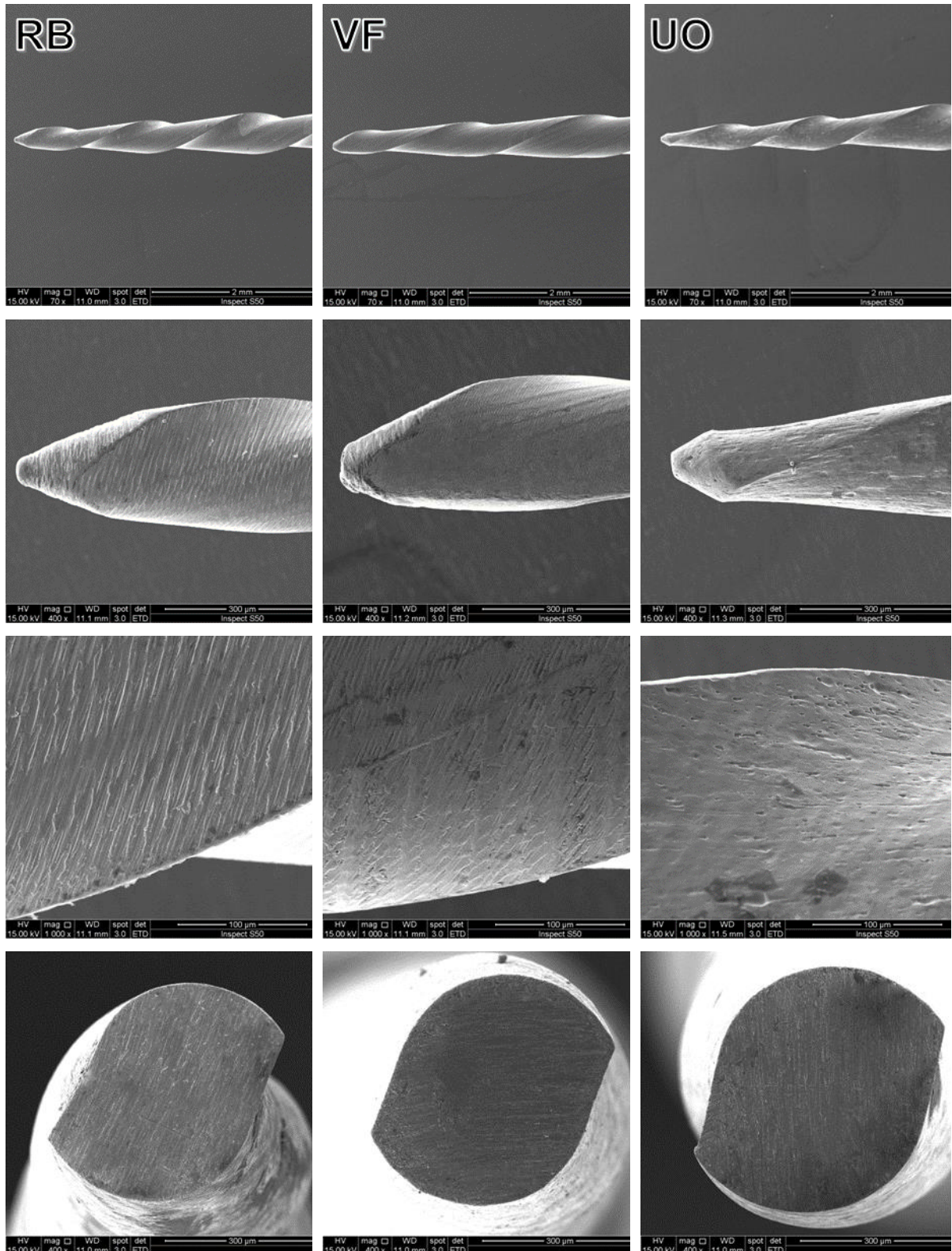
Fonte: Do autor, 2023.

Os resultados mostram que, embora haja um significativo aumento na área dos forames após a instrumentação, não se observou transporte apical causado por nenhum dos sistemas avaliados, mesmo quando se realiza uma sobreinstrumentação de +2mm além do comprimento de patência do canal, considerando a Relação de Feret inicial e final em cada um dos grupos.

5.2 Características geométricas e dimensionais dos instrumentos

Numa análise qualitativa das imagens da parte ativa dos instrumentos obtidas em MEV (FIGURA 14), observa-se que, embora VF e UO sejam comercializados como réplicas dos instrumentos RB, são visíveis as diferenças entre eles, especialmente no que diz respeito a desenho das espirais cortantes, desenho da ponta, acabamento superficial e no desenho da seção transversal. É possível visualizar marcas de usinagem em todos os grupos de instrumentos.

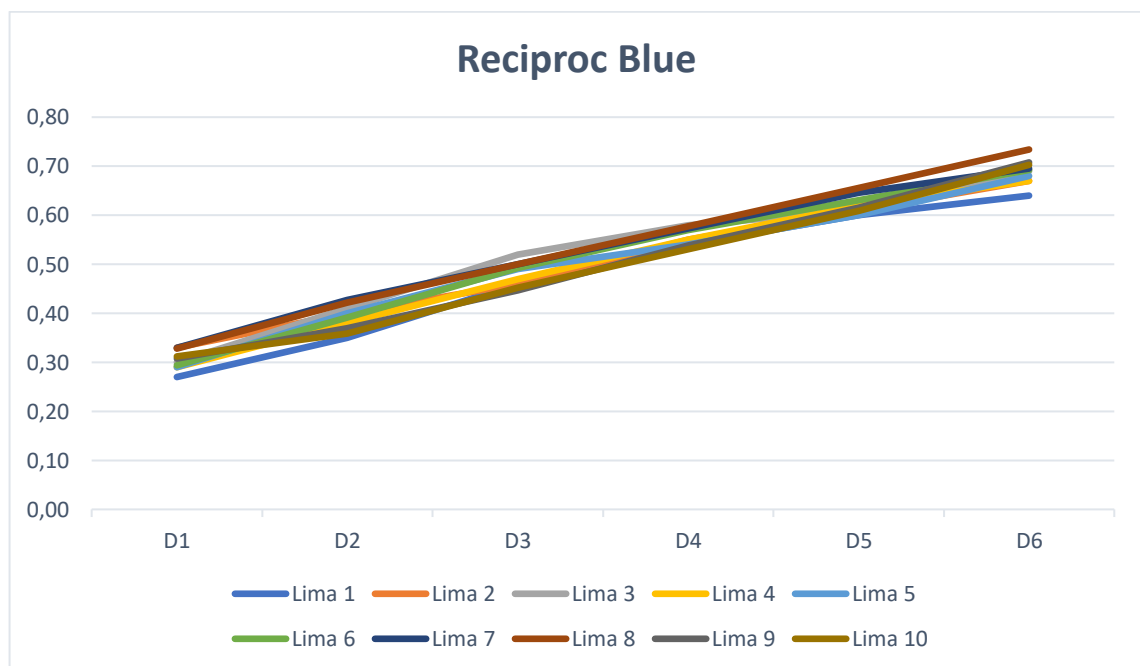
Figura 14- Imagens de microscopia eletrônica de varredura do RB e instrumentos réplicas mostrando (de cima para baixo) a parte ativa dos instrumentos - MEV (70x); a ponta dos instrumentos - MEV (400x); as bordas cortantes dos instrumentos demonstrando características de acabamento superficial - MEV (1000x); a seção transversal dos instrumentos a 3 mm da ponta – MEV (1000x).



Fonte: Do autor, 2023.

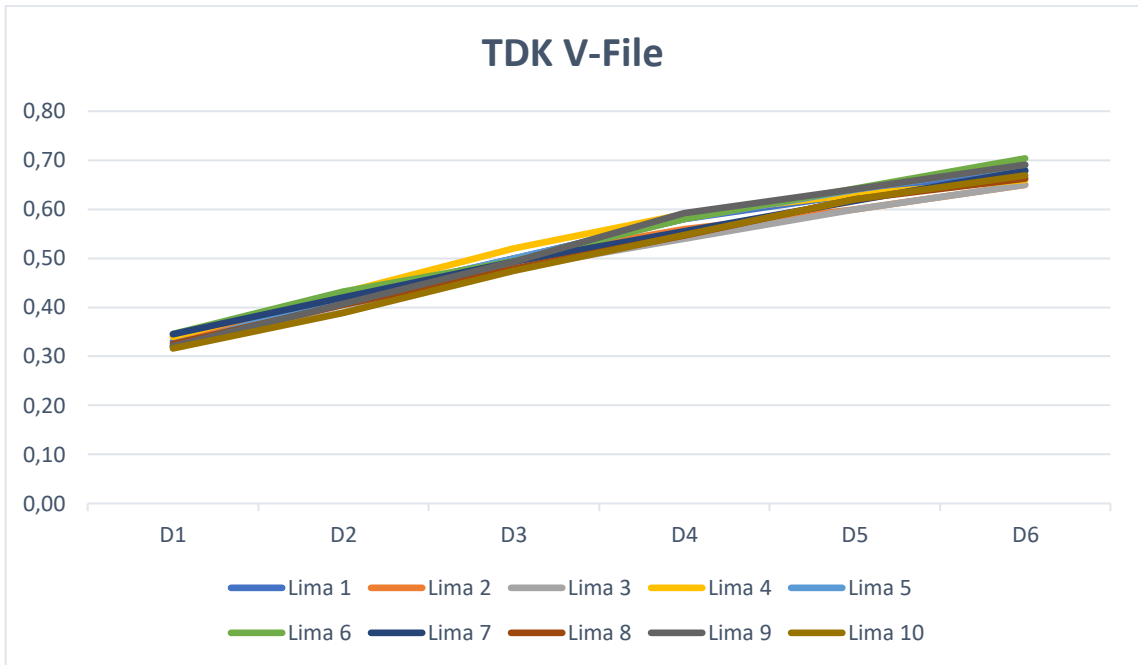
As medidas dos diâmetros até o D6 dos instrumentos testados (RB, VF e UO) podem ser verificadas nos Gráficos 1, 2 e 3 (n=10 para cada grupo de instrumentos). Os valores dos diâmetros foram analisados estatisticamente, com o intuito de comparar os instrumentos e verificar sua estabilidade dimensional (TABELA 11). Todos os grupos (RB, VF e UO) possuem o mesmo diâmetro de fio ($1,18 \pm 0,00$ mm). Todas as medidas realizadas no estudo, de D1 a D6, em todas as 10 limas dos três sistemas analisados podem ser visualizadas nos Apêndices S, T e U.

Gráfico 1 - Mensuração de D1 a D6 dos instrumentos Reciproc Blue



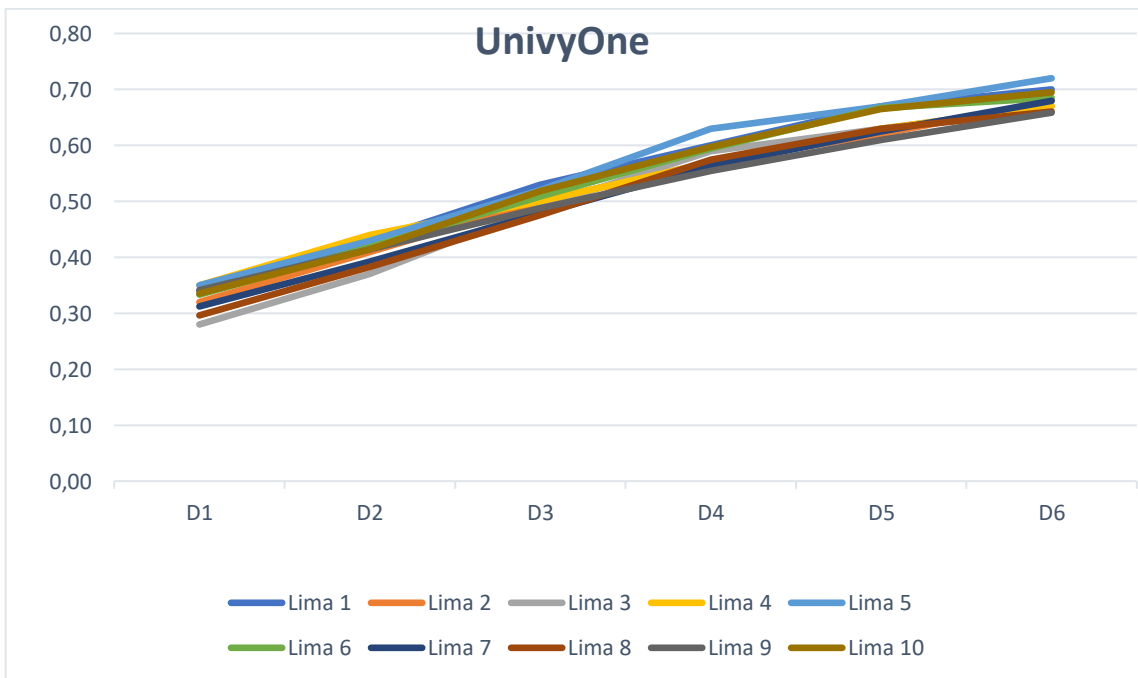
Fonte: Do autor, 2023.

Gráfico 2 - Mensuração de D1 a D6 dos instrumentos TDK V-File



Fonte: Do autor, 2023.

Gráfico 3 - Mensuração de D1 a D6 dos instrumentos UnivyOne



Fonte: Do autor, 2023.

Tabela 11 – Comparação do diâmetro das limas em seis segmentos entre os sistemas avaliados.

Diâmetro das limas (mm)	Sistemas de limas			P
	Reciproc Blue	V-File	Univy One	
Diâmetro 1				
Média (DP)	0,31 (\pm 0,02) ^a	0,33 (\pm 0,12) ^b	0,33 (\pm 0,02) ^{a,b}	,021[†]
Mediana [Min – Max]	0,31 [0,27 – 0,33]	0,33 [0,32 – 0,35]	0,34 [0,28 – 0,35]	
Diâmetro 2				
Média (DP)	0,39 (\pm 0,03)	0,41 (\pm 0,01)	0,41 (\pm 0,02)	,083*
Mediana [Min – Max]	0,40 [0,35 – 0,43]	0,42 [0,39 – 0,43]	0,41 [0,37 – 0,44]	
Diâmetro 3				
Média (DP)	0,48 (\pm 0,02) ^a	0,49 (\pm 0,01) ^{a,b}	0,50 (\pm 0,02) ^b	,039*
Mediana [Min – Max]	0,48 [0,45 – 0,52]	0,49 [0,47 – 0,52]	0,50 [0,48 – 0,53]	
Diâmetro 4				
Média (DP)	0,56 (\pm 0,02) ^a	0,57 (\pm 0,02) ^{a,b}	0,58 (\pm 0,02) ^b	,017*
Mediana [Min – Max]	0,55 [0,53 – 0,58]	0,57 [0,54 – 0,59]	0,58 [0,55 – 0,63]	
Diâmetro 5				
Média (DP)	0,62 (\pm 0,02)	0,62 (\pm 0,02)	0,64 (\pm 0,02)	,107 [†]
Mediana [Min – Max]	0,62 [0,60 – 0,66]	0,63 [0,60 – 0,64]	0,63 [0,61 – 0,67]	
Diâmetro 6				
Média (DP)	0,69 (\pm 0,02)	0,67 (\pm 0,02)	0,68 (\pm 0,02)	,282*
Mediana [Min – Max]	0,69 [0,64 – 0,73]	0,68 [0,65 – 0,70]	0,68 [0,66 – 0,72]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

*ANOVA one-way e pós-teste Tukey; [†]Kruskal-Wallis e pós-teste Dunn. Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Valores em negrito indicam significância estatística ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor, 2023.

Como os instrumentos são ditos réplicas e apresentam os mesmos diâmetros e conicidades nominais de acordo com os fabricantes (ponta #25 e conicidade .08 nos milímetros iniciais), esperava-se encontrar uma reprodutibilidade ao longo de toda a parte ativa mensurada das limas dos três sistemas avaliados. Entretanto, apenas nos diâmetros D2, D5 e D6 não houve diferença estatística entre eles. Considerando as medidas do diâmetro em D1, o sistema de limas Reciproc Blue apresentou menor diâmetro em comparação ao sistema de limas V-File e essa diferença foi estatisticamente significativa ($P = 0,021$). Não foi encontrada diferença significativa comparado ao sistema de limas Univy One. Considerando as medidas do diâmetro em D3 e D4, o sistema de limas Reciproc Blue apresentou menor diâmetro em comparação ao sistema de limas Univy One ($P = 0,039$ e $P = 0,017$). Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa comparado ao sistema de limas V-File.

Os desvios-padrão entre todas as medidas foram considerados baixos o que demonstra haver uniformidade dimensional em todos os diferentes sistemas comerciais analisados. A característica de conicidade fixa de 8% destes instrumentos se mostrou até o D6 nos instrumentos RB e apenas até D4 em VF e UO.

5.3 Análises de flexibilidade

Os resultados dos ensaios de dobramento a 45° (momento de dobramento) podem ser verificados na Tabela 12. Quanto menor o momento do dobramento, mais flexível o instrumento pode ser considerado.

Tabela 12 – Comparação da flexibilidade dos sistemas de limas.

Flexão (g.cm)	Sistemas de limas			P
	Reciproc Blue	V-File	Univy One	
Média (DP)	0,55 (\pm 0,05) ^a	0,73 (\pm 0,12) ^b	0,35 (\pm 0,09) ^c	<,001*
Mediana [Min – Max]	0,54 [0,49 – 0,62]	0,74 [0,56 – 0,94]	0,35 [0,16 – 0,47]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

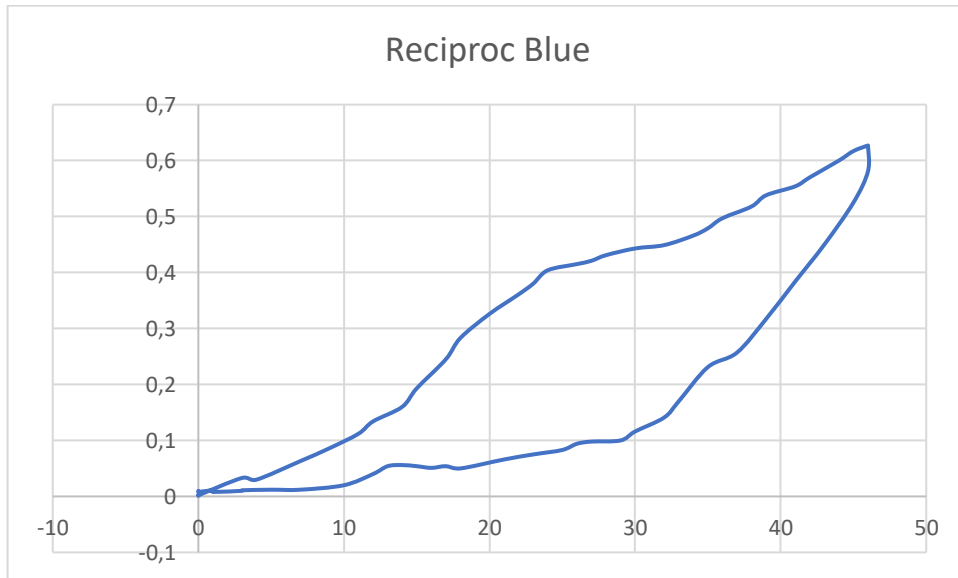
*ANOVA one-way e pós-teste Tukey. Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significante. Valores em negrito indicam significância estatística ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor, 2023.

Dentre os três sistemas avaliados, a lima com maior flexibilidade foi a UnivyOne, seguida da Reciproc Blue, e por último, a lima V File ($p < 0,001$). A flexibilidade depende das características geométricas, da composição da liga e do tratamento térmico aplicado. Embora o instrumento UO seja o que apresenta o maior diâmetro em D3 e o desenho de sua seção transversal seja o mais robusto, este resultado de flexibilidade pode ser decorrente das suas características metalúrgicas, em comparação aos sistemas RB e VF. Entre os dois últimos sistemas, verificou-se uma forte relação direta entre flexibilidade e características geométricas dos mesmos. Apesar das limas analisadas serem consideradas réplicas da lima Reciproc Blue, os tratamentos térmicos realizados durante ou após a fabricação das limas não são revelados pelas empresas, justificando os resultados diferentes que foram encontrados entre os três sistemas analisados.

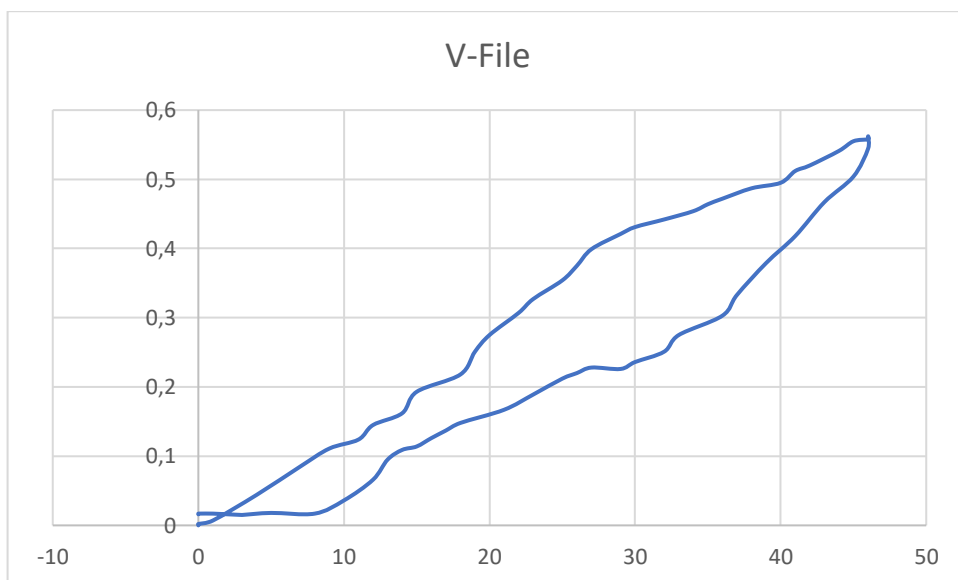
A tabela referente a todos resultados dos ensaios de flexão a 45° de cada instrumento dos sistemas avaliados encontram-se no Apêndice V. Os gráficos 4, 5, e 6 mostram as curvas de dobramento a 45°, durante o carregamento cíclico flexural. Neles podem ser observadas diferenças na flexibilidade dos instrumentos avaliados.

Gráfico 4 – Curva de dobramento a 45° antes e após o carregamento das limas Reciproc Blue



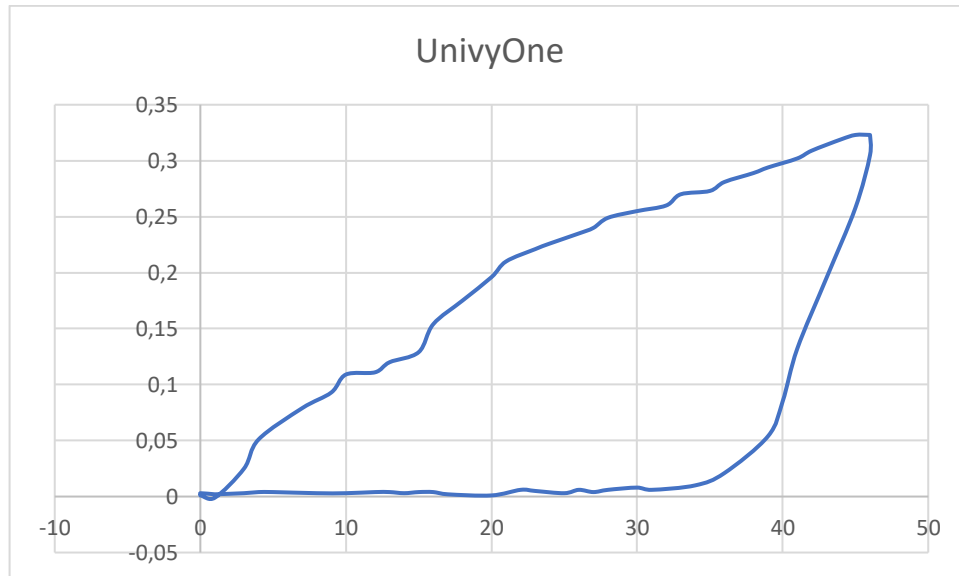
Fonte: Do autor, 2023.

Gráfico 5 – Curva de dobramento a 45° antes e após o carregamento das limas V-File



Fonte: Do autor, 2023.

Gráfico 6 – Curva de dobramento a 45° antes e após o carregamento das limas UnivyOne



Fonte: Do autor, 2023.

5.4 Análise dos tempos de instrumentação dos canais

A Tabela 13 mostra as médias dos tempos de preparo agrupados para os três sistemas avaliados. Embora haja uma tendência numérica de um preparo mais demorado quando se utilizou instrumentos UO, não houve diferença estatística entre eles.

Tabela 13 – Comparação do tempo de preparo entre os sistemas de limas.

Sistemas de limas	Tempo de preparo (seg.)		P
	Média (DP)	Mediana [Min – Max]	
Reciproc Blue	196,29 (± 66,48)	204 [96 – 313]	,051 [†]
V-File	206,62 (± 76,51)	218 [54 – 369]	
Univy One	280,33 (± 133,81)	249 [126 – 621]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P = Valor de Probabilidade.

[†]Kruskal-Wallis e pós-teste Dunn. Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Valores em negrito indicam significância estatística ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor, 2023.

Por outro lado, quando se analisa o tempo gasto para o preparo dos canais isoladamente (TABELA 14), em cada situação de comprimento de trabalho para cada sistema de instrumentos avaliados, verifica-se que o Grupo 9, aquele que instrumentos UO preparam o canal 2mm além do CPC, apresentou tempo de preparo

superior ao gasto pelo sistema Reciproc Blue nesta mesma situação ($P = 0,046$). Não foi verificada diferença entre os demais grupos.

Tabela 14 – Comparação do tempo de preparo entre os grupos de acordo com nível de preparo.

	Grupo	Tempo de preparo (seg.)		P
		Média (DP)	Mediana [Min – Max]	
0mm	RB0	170,00 ($\pm 83,46$)	115 [36 – 313]	,463*
	VF0	179,29 ($\pm 86,20$)	191 [54 – 295]	
	UO0	217,86 ($\pm 49,11$)	238 [126 – 270]	
+1mm	RB1	203,71 ($\pm 40,75$)	204 [134 – 248]	,135*
	VF1	169,57 ($\pm 49,00$)	187 [98 – 224]	
	UO1	247,86 ($\pm 101,93$)	211 [128 – 381]	
+ 2mm	RB2	215,14 ($\pm 69,44$) ^a	211 [103 – 308]	,046*
	VF2	271,00 ($\pm 48,70$) ^{a,b}	272 [214 – 369]	
	UO2	375,29 ($\pm 174,86$) ^b	327 [131 – 621]	

DP = Desvio Padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; P-valor = Valor de Probabilidade.

*ANOVA one-way e pós-teste Tukey.

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Valores em negrito indicam significância estatística ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor, 2023.

Estes resultados deram origem a um artigo intitulado *Foraminal enlargement using Reciproc Blue and two replica-like instruments*, submetido na Revista *Journal of Dental Research*, Qualis A1, que se encontra no Apêndice W.

6 DISCUSSÃO

O preparo químico-mecânico é importante para a remoção da polpa, microrganismos e tecido infectado, pois esta etapa proporciona as condições para o correto preenchimento dos canais e o processo inicial de cicatrização das estruturas periapicais. As porções apicais dos canais radiculares são as regiões mais críticas do tratamento endodôntico, contendo bactérias localizadas em complexidades anatômicas como túbulos dentinários, irregularidades e ramificações. A correta limpeza e modelagem desta região estão diretamente relacionadas ao sucesso do tratamento endodôntico (PINHEIRO *et al.*, 2017).

O limite apical da instrumentação é um tema controverso na Endodontia. Vários autores apontam que a limpeza e modelagem do canal devem ser realizadas até ou além do forame apical, com o argumento de que o alargamento foraminal pode estar associado a um reparo mais favorável e previsível, melhorando a desinfecção no terço apical, limpando o forame cementário e melhorando assim a cicatrização de dentes necróticos (DE-DEUS *et al.*, 2015; PINHEIRO *et al.*, 2017).

Este trabalho avaliou a ampliação foraminal realizada por instrumentos Reciproc Blue e dois sistemas de instrumentos réplicas, os sistemas TDK V-File e o sistema Univy One, em diferentes situações de comprimento de trabalho: no comprimento de patência, 1mm além do CPC e 2mm além do CPC. Independentemente do sistema de instrumentos utilizados ou dos diferentes comprimentos de trabalho, todos os grupos mostraram significativa ampliação das áreas dos forames apicais após a instrumentação, variando entre 91% e 399% de aumento. Esta é uma evidência que as limas reciprocantes utilizadas atingiram o objetivo de ampliar o forame e, conseqüentemente, realizar uma limpeza adequada. Utilizar o mesmo instrumento de finalização do preparo para ampliação foraminal, apenas alterando o comprimento de trabalho em que ele atua, é uma forma de se conseguir que uma parte do instrumento com maior diâmetro toque as paredes do forame, aumentando a área do preparo e conseqüentemente a limpeza das paredes, sem que seja necessário o aumento de mais instrumentos na sequência operatória. Pesquisas sobre a cicatrização periapical de dentes com lesões apicais mostraram que melhores resultados foram alcançados quando o forame apical foi ampliado para

um diâmetro maior do que o instrumento usado para manter a permeabilidade do canal. Esse procedimento facilita a irrigação no terço apical do canal e promove condições mais favoráveis à cicatrização (DAOU *et al.*, 2020). Além disso, preparos de tamanho apical maior também demonstraram maior redução microbiana no terço apical. (PINHEIRO *et al.*, 2017; VERTUCCI, 1984, 2005).

Diferentes comprimentos de trabalho poderiam influenciar não apenas na quantidade de ampliação, uma vez que os instrumentos são cônicos e apresentam maiores diâmetros em situações de sobreinstrumentação, mas também um maior potencial de transporte. A sobreinstrumentação dos forames em diferentes níveis também não levou a maior transporte apical ou deformação dos mesmos.

Muitas metodologias foram citadas para avaliar a morfologia do forame; estes incluem o estereomicroscópio, imagens de microtomografia computadorizada e microscopia eletrônica de varredura. No presente estudo, o MEV foi utilizado porque permite a visualização de imagens em grande aumento, aumenta a precisão das medidas e é um método acessível para ser realizado em um grande número de dentes. Em relação à deformação do forame apical, outros estudos também utilizam imagens de MEV para avaliação, nas quais foi relatada uma ampliação variando de 50x a 150x (MARIN, 2019; SILVA *et al.* 2016; SOUZA *et al.* 2021).

A análise da deformação ou transporte do forame após alargamento foraminal pode ser feita baseando-se em análise qualitativa de imagens e atribuição de escores (LIMA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2016; SILVA-SANTOS *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2021; VIEIRA *et al.*, 2020). Porém, apresentar os resultados por meio de medidas e parâmetros numéricos, como a Relação de Feret utilizada no presente estudo, permite uma comparação estatística e maior fidedignidade nas considerações, como observado por outros autores com trabalhos semelhantes (BEZERRA *et al.*, 2021; DAOU *et al.*, 2020; FROTA *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2013; MARINS *et al.*, 2019; SCHIMIDT, 2019; YAMMINE *et al.*, 2017).

A fabricação e comercialização dos instrumentos endodônticos cresceu consideravelmente nos últimos anos, principalmente com a importação de instrumentos provenientes da Ásia (LIANG; YUE, 2022). Estes instrumentos geralmente possuem características similares a instrumentos já conceituados no mercado mundial, denominados *replica-like instruments* e são comercializados apesar

de pouca comprovação científica de suas propriedades físicas e mecânicas (MARTINS *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2023; USLU, HAZNEDAROGLU; KESKIN, 2023). Os instrumentos Reciproc Blue têm obtido um notável êxito e uma ampla aceitação no mercado global devido às suas propriedades e inúmeras publicações científicas, sendo referência em qualidade de instrumento (DE-DEUS *et al.*, 2017; GENERALI *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2021). Algumas empresas têm desenvolvido instrumentos que replicam as características do Reciproc Blue, como os instrumentos Univy One (Universo Odonto, São Paulo, Brasil), TDK V File (TDK Files, Shenzhen, China) e até então pouco se sabe sobre suas características e propriedades.

Sabidamente, as características geométricas dos instrumentos interferem diretamente em suas propriedades mecânicas como, por exemplo, sua flexibilidade (PEREIRA *et al.*, 2015). Maiores diâmetros e maior volume de massa no *design* da seção dos instrumentos são fatores que podem levar a uma menor flexibilidade. Analisando-se as características da seção transversal dos instrumentos através das imagens de MEV, observa-se que, embora todos eles apresentem um desenho em forma de “S” com duas bordas cortantes, existe bastante variação entre eles, principalmente no que diz respeito ao volume de material constituinte. E, embora a reprodutibilidade dimensional entre os instrumentos tenha sido considerada boa, alguma variação existente entre os diâmetros também poderia alterar as suas propriedades. Contrariando as expectativas, os instrumentos UO mostraram-se mais flexíveis que os demais, embora apresentassem maior volume de material na seção e maior diâmetro que instrumentos RB. Provavelmente há uma forte influência do tipo de tratamento térmico aplicado sobre estes instrumentos. A presença de fase R ou martensita à temperatura ambiente podem favorecer as propriedades mecânicas das limas, já que a martensita apresenta menor módulo de elasticidade do que a austenita, e, portanto, mais flexibilidade e resistência à fadiga flexural (GAVINI *et al.*, 2018; TABASSAUM; ZAFAR; UMER, 2019). Uma maior quantidade de martensita estável à temperatura ambiente também poderia interferir na dureza e conseqüentemente na ação de corte dos instrumentos. No presente trabalho não houve diferença entre os tempos de preparo para os diferentes grupos de instrumentos, com exceção do sistema UO, quando preparou os canais a 2mm além do forame apical, que se mostrou mais lento que os demais.

A flexibilidade do instrumento é uma propriedade importante, principalmente para a modelagem de canais radiculares curvos (GAVINI *et al.*, 2018). Esta característica está relacionada com a capacidade do instrumento em manter o trajeto original do canal radicular, com menor força de restauração e conseqüentemente menos predisposição de causar iatrogenias e erros de preparo (RAZCHA *et al.*, 2020; VIANA *et al.*, 2010). Neste estudo, houve diferença significativa entre a flexibilidade dos instrumentos avaliados, mas, surpreendentemente, esta variação não se traduziu em um maior índice de transporte apical. As vantagens da cinemática recíproca estão de alguma forma baseadas no conceito de força balanceada. Esta técnica tem mostrado sua relevância clínica em manter a curvatura radicular com distorção mínima e pode ter sido determinante para este resultado (PRUETT *et al.*, 1997; ROANE *et al.*, 1985; Yared, 2008). Além disso, os tratamentos térmicos conferem flexibilidade e capacidade de corte aos instrumentos, mesmo que diferentes entre si, o que também pode justificar os resultados atuais.

Talvez o fato de que todos os instrumentos avaliados aqui utilizem cinemática recíproca e sejam tratados termicamente seja a explicação para a não ocorrência de transporte apical após a instrumentação dos canais. Estudos que concluíram que a instrumentação no forame maior ou além do ápice promoveu deformações foraminais geralmente avaliaram instrumentos de aço inoxidável ou rotatórios de NiTi convencional (LIU *et al.*, 2021; MARIN *et al.*, 2019; SCHIMIT, 2019; SILVA *et al.* 2016; SOUZA *et al.*, 2021). Este estudo mostrou que o alargamento foraminal, seja realizado ao nível do forame apical ou além dele, provoca um aumento na área do forame sem causar deformação significativa ou transporte apical. Embora instrumentos TDK V-File e Univy One sejam comercializados como réplicas do sistema Reciproc Blue, nenhum deles apresentou as mesmas características geométricas ou comportamento mecânico medido em testes de flexibilidade. Entretanto, estas diferenças não foram suficientes para alterar a capacidade destes instrumentos de manter a centralização do preparo apical realizado em dentes extraídos.

7 CONCLUSÃO

Após o estudo por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), analisando as alterações morfológicas do forame apical, a ampliação e centralização do preparo apical após instrumentação de canais radiculares em dentes extraídos utilizando limas reciprocantes Reciproc Blue R25 (VDW, Munich, Germany), e duas de suas réplicas, os sistemas NiTi TDK V-File (TDK, Shenzhen, China), e UnivyOne (Universo Odonto, São Paulo, Brasil), concluiu-se que:

- Considerando a área inicial e final dos canais, todos os Grupos apresentaram um aumento da área final dos canais em comparação à área inicial ($P < 0,05$).
- Considerando a área inicial e final dos canais, não houve diferença estatisticamente significativa entre os Grupos.
- Considerando a Relação de Feret inicial e final em cada um dos grupos, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa em nenhum dos grupos.

Também relacionou o comportamento destes instrumentos à sua flexibilidade e características geométricas, concluindo:

- Em relação às características geométricas, o sistema de limas Reciproc Blue apresentou menor diâmetro nas medidas de Diâmetro 1, quando comparado ao sistema de limas V-File ($P = 0,021$), e nas medidas de Diâmetro 3 e 4, quando comparado ao sistema de limas Univy One ($P = 0,039$ e $P = 0,017$, respectivamente).
- Em relação à flexibilidade das limas, durante o carregamento a 45° , os sistemas de limas apresentaram valores de flexão estatisticamente diferentes, sendo que o sistema de limas V-File apresentou menor flexibilidade em comparação aos sistemas de limas Reciproc Blue e Univy One, e o sistema de limas Univy One mostrou-se mais flexível em comparação ao sistema de limas Reciproc Blue e V-File ($P < 0,001$).

O estudo concluiu que, apesar das diferenças durante a fabricação, principalmente em relação aos tratamentos térmicos, os três sistemas avaliados possuem uma boa padronização e não foram capazes de causar transporte apical mesmo em situações com maior ampliação dos forames ou sobreinstrumentação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. P., *et al.* Influence of foraminal enlargement on the apical extrusion of filling material: Volumetric analysis using micro-computed tomography. **Australian Endodontic Journal**, v. 46, n. 2, p. 210–216, 2020. <https://doi.org/10.1111/aej.12394>

BONACCORSO A, Schafer E, Condorelli GG. Chemical analysis of nickel-titanium rotatory instruments with and without electropolishing after cleaning procedures with sodium hypochlorite. **Journal of Endodontics**, v.34, n.11, p.1391-5, 2008.

CAMPBELL L, *et al.* Effect of fatigue on torsional failure of nickel-titanium controlled memory instruments. **Journal of Endodontics**, v.40, p.562-5, 2014.

COHEN, S. e HARGREAVES, K. Cohen **Caminhos da polpa**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

DAOU, C., *et al.* Effect of 2 Heat-treated Nickel-Titanium Files on Enlargement and Deformation of the Apical Foramen in Curved Canals: A Scanning Electronic Microscopic Study. **Journal of Endodontics**, v. 46, n. 10, p. 1478–1484, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.07.019>

DE CARVALHO, K. *et al.* Impact of Several NiTi-Thermally Treated Instrumentation Systems on Biomechanical Preparation of Curved Root Canals in Extracted Mandibular Molars. **International Endodontic Journal**, v.55, n.1, p. 124-136. 2022.

DE-DEUS G, *et al.* Micro-CT evaluation of non-instrumented canal areas with different enlargements performed by NiTi systems. **Brazilian Dental Journal**, v.26, p.624-629, 2015.

DE-DEUS, G., *et al.* Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. **Journal of Endodontics**, v.43, n.3, p. 462-466, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.039>

DE FREITAS PORTELA, F. S. M., *et al.* Effect of Foraminal Enlargement on Postoperative Pain in Necrotic Single-Rooted Teeth: A Randomized Clinical Trial. **Journal of Endodontics**, v.47, n.7, p.1046–1051, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.04.008>

FROTA, M. M. A., *et al.* Debris extrusion and foraminal deformation produced by reciprocating instruments made of thermally treated NiTi wires. **Journal of Applied Oral Science**, v.26, 2018. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2017-0215>

GAVINI G, *et al.* Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of art. **Brazilian Oral Research**, v.32, p.44-65, 2018.

GAMBARINI G. Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation. **Endodontic Dental Traumatology**, v.16, n.3, p.95-100, 2000.

GENERALI, L. *et al.* Mechanical properties and metallurgical features of new and ex vivo used Reciproc Blue and Reciproc. **International Endodontic Journal**, v.53, n.2, p. 250-264, 2020. <https://doi.org/10.1111/iej.13214>

HOU X, *et al.* Phase transformation behaviour and bending property of twisted nickel-titanium endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v.44, p.253– 8, 2011.

JOHNSON E, *et al.* Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. **Journal of Endodontics**, v.34, p1406– 9, 2008.

KABIL, E. *et al.* Micro-computed Evaluation of Canal Transportation and Centering Ability of 5 Rotary and Reciprocating Systems with Different Metallurgical Properties and Surface Treatments in Curved Root Canals. **Journal of Endodontics**, v.47, n.3, p. 4770484, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.11.003>

KESKIN C, *et al.* Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue, Reciproc, and WaveOne Gold Reciprocating Instruments. **Journal of Endodontics**; v.43, n.8, p.1360–3, 2017.

LIANG, Y.; YUE, L. Evolution and development: engine-driven endodontic rotary nickel-titanium instruments. **International Journal of Oral Science**, v.14, n.1, p.12, 2022.

LIU R, *et al.* Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. **Journal of Endodontics**, v.39, n.1, p.129-32, 2013.

LOPES HP, Siqueira Jr, JF. Endodontia. Biologia e Técnica: Rio de Janeiro: **Meds**, 2010.

MARIN, MCC. Avaliação da variação de área e transporte foraminal após preparo e ampliação apical. [São José dos Campos]: **Universidade Estadual Paulista (Unesp)**; 2019.

MARTINS JNR, *et al.* Influence of kinematics on the cyclic fatigue resistance of replicalike and original brand rotary instruments. **Journal of Endodontics**, v.46, p.1136-43, 2020a.

MARTINS J.N.R., *et al.* Mechanical performance and metallurgical features of Protaper Universal and 6 replicalike systems. **Journal of Endodontics**, v.46, p. 1884-93, 2020b.

MARTINS J.N.R., *et al.* Comparison of design, metallurgy, mechanical performance and shaping ability of replica-like and counterfeit instruments of the ProTaper Next system. **International Endodontic Journal**, v.54, p.780–792, 2021a.

MARTINS, J. N. R., *et al.* Design, metallurgical features, mechanical performance and canal preparation of six reciprocating instruments. **International Endodontic Journal**, v.54, n.9, p. 1623-37, 2021b. <https://doi.org/10.1111/iej.13529>

MARTINS, J.N.R. *et al.* Comparison of Geometric Design, Metallurgical Features and Mechanical Behavior of ProTaper Gold SX and Two Replica-like Instruments. **Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial**, v.62, n.1, p.1-8, 2021.

MARTINS, J.N.R. *et al.* Comparative analysis of reciprocating and flat-side heat-treated rotary single-file system: design, metallurgical characteristics and mechanical performance. **International Endodontic Journal**, v.56, n.7, p.896-908, 2023.

MCSPADDEN, J. Mastering Endodontic Instrumentation. **Cloudland Institute**. 2007.

MOZO P, *et al.* A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. **European Radiology**, v.8, p.1558-64, 1988.

NOIRI Y, *et al.* Participation of bacterial biofilms in refractory and chronic periapical periodontitis. **Journal of Endodontics**, v.28, p.679-83, 2002.

PEDULLÀ, E. *et al.* Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. **Journal of Endodontics**, v.39, n.2, p.258–261, 2013.

PEDULLÀ E, *et al.* Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. **Journal of Endodontics**. v.42, p156-9, 2016.

PEREIRA, E.S.J. *et al.* Behavior of Nickel-Titanium Instruments Manufactured with Different Thermal Treatments. **Journal of Endodontics**, v.41, n.1, p.67-71, 2015.

PÉREZ MORALES, M. de las N. *et, al.* Micro-computed Tomographic Assessment and Comparative Study of the Shaping Ability of 6 Nickel-Titanium Files: An In Vitro Study. **Journal of Endodontics**, v.47, n.5, p. 812-19, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.12.021>

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

PETERS O.A., Barbakow F, Peters Cl. An analysis of endodontic treatment with three nickel-titanium rotary root canal preparation techniques. **International Endodontic Journal**, v.37, n.12, p.849-59, 2004.

PINHEIRO, S. R. *et al.* Evaluation of apical transportation and centering ability of five thermally treated NiTi rotary systems. **International Endodontic Journal**, 2017 – . doi:10.1111/iej.12881

PIRANI C, *et al.* HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovate electro discharge machined NiTi rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v.49, p.483-93, 2016.

PLOTINO G, *et al.* Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of Protaper Gold and Protaper Universal rotary files. **Journal of Endodontics**, v.43, n.2, p.200-2, 2017.

PRUETT JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of Endodontics**; v.23, p.77–85, 1997.

RAZCHA, C. *et al.* Micro-computed tomographic evaluation of canal transportation and centering ability of 4 heat-treated nickel-titanium systems. **Journal of Endodontics**, v.46, n.5, p.675-681, 2020.

RICUCCI D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. literature review. **International Endodontic Journal**, v.31, p. 384-93, 1998.

RICUCCI D, Siqueira JF Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopatological findings. **Journal of Endodontics**, v.36, p.1277-88, 2010.

RICUCCI D, *et al.* Apically extruded sealers: fate and influence on treatment outcome. **Journal of Endodontics**, v.42, p.243-9, 2016.

ROANE, J. B.; SABALA, C. L.; DUNCANSON, M.G. The “Balanced Force” concept for instrumentation of curved canals. **Journal of Endodontics**, v.11, n.5, p.203-211, may.1985.

RODRIGUES CS, *et al.* Mechanical characteristics of counterfeit Reciproc instruments: a call for attention. **International Endodontic Journal**, v.51, p.556–63, 2018.

SCHILDER H. Cleaning and shaping the root canal. **Dent Clin North Am.** v.8, n.2, p.269-96, 1974.

SCHMIDT TF. Influência do nível apical do preparo mecânico na morfologia do forame e do canal radicular. [Florianópolis]: **Universidade Federal de Santa Catarina**; 2019.

SERACCHIANI M *et al.* Mechanical Performance and Metallurgical Characteristics of 5 Different Single-file Reciprocating Instruments: A Comparative In Vitro and Laboratory Study. **Journal of Endodontics.** v.48, n. 8, August 2022.

SERENE, T. P.; ADAMS, J. D.; SAXENA, A. Nickel-Titanium instruments: Applications in Endodontics. St. Louis, MO, USA:Ishiaku EuroAmerica, Inc., 1995.

SHAZRA, F. *et al.* Effect of Apical Third Enlargement to Different Preparation Sizes and Tapers on Postoperative Pain and Outcome of Primary Endodontic Treatment: A Prospective Randomized Clinical Trial. **Journal of Endodontics**, v.47, n.9, p.1345–1351, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.05.010>

SHEN Y, *et al.* Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics**. v.39, p.163-72, 2013.

SHEN Y, *et al.* Fatigue resistance of a 3-dimensional conforming nickel-titanium rotary instrument in double curvatures. **Journal of Endodontics**. v.42, p.961-4, 2016.

SIGNORETTI FG, *et al.* Persistent extraradicular infection in root-filled asymptomatic human tooth: scanning electron microscopic analysis and microbial investigation after apical microsurgery. **Journal of Endodontics**, v.37, p.1696-700, 2011.

SILVA D, *et al.* Evaluation of foraminal transportation during foraminal enlargement with different instrumentation systems. **Brazilian Journal of Oral Science**, v.13, n.4, p.246-50, 2014.

SILVA JM, *et al.* Influence of working length and foraminal enlargement on foramen morphology and sealing ability. **Indian Journal of Dental Research**, v.27, p.66-72, 2016.

SILVA SANTOS AM, *et al.* Foraminal deformation after foraminal enlargement with rotary and reciprocating kinematics: a scanning electronic microscopy study. **Journal of Endodontics**, v.44, p.145-8, 2018.

SILVA EJNL, *et al.* Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Four Martensite Based Nickel Titanium Reciprocating Instruments. **European Endodontic Journal**, v.3, p.231-5, 2020.

SOARES A. J., SOUZA-FILHO FJ. Morphological evaluation of the apical foramen after shaping root canals with two rotatory systems. **Revista Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas**, v.66, n.4, p.272-6, 2012.

SOUZA MA, et al. Evaluation of apical transportation and apical root sealing in root canals prepared with mtwo rotary system with and without apical enlargement - an In Vitro study. **Bioscience Journal**, n.37, p.1-8, 2021.

SOUZA RA. The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation. **Brazilian Dental Journal**, v.17, p.6-9, 2006.

TABASSUM, S, *et al.* Nickel-Titanium Rotary File Systems: What's New? **European Endodontic Journal**, v.4, n.3, p.111-117, 2019.

THOMPSON S.A. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. **International Endodontic Journal**, v.33, n.4, p.297-310, 2000.

UNIVERSO ODONTO, 2022. Disponível em:
https://www.universoodonto.com/index.php?route=product/product&product_id=380.
Acesso em: 20 de jan. de 2022.

USLU, O.; HAZNEDAROGLU, F.; KESKIN, C. Comparison of mechanical resistance and standardisation between original brand and replica-like endodontic system. **Australian Endodontic Journal**, v.49, n.1, p.149-158, 2023.

VERTUCCI FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology**. v.58, n.5, p.589-99, 1984.

VERTUCCI FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. **Endodontic Topics**. v.10, p.3-29, 2005.

VIANA, A.C.D. *et al.* Relationship between flexibility and physical, chemical, and geometric characteristics of rotary nickel-titanium instruments. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v.110, n.4, p.527-533, 2010.

VIEIRA MLO, et al. Morphologic Changes of Apical Foramen and Microcrack Formation after Foraminal Enlargement: A Scanning Electron Microscopic and Micro-computed Tomographic Analysis. **Journal of Endodontics**, v.46, n.11, p.1726-1732, 2020.

WALIA HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **Journal of Endodontics**. v.14, n.7, p.346-51, 1988.

YAMMINE S, *et al.* Foramen changes following over instrumentation of curved canals with three engine-driven instruments: An in vitro study. **Iranian Endodontic Journal**, v.12, n.4, p.454-61, 2017.

ZUPANC J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. **International Endodontic Journal**, v.51, n.10, 2018.

APÊNDICE A – Medidas das áreas antes e após instrumentação no comprimento de patência com Reciproc Blue

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	88.343	114.802	26.459	29
3	46.243	63.585	17.342	37
4	72.099	94.507	22.408	31
5	33.144	67.446	34.302	103
6	102.457	131.339	28.882	28
7	25.684	70.550	44.486	174
8	21.005	66.661	45.656	217
Média	55568	86984	31362	89
Desvio Padrão	32206	27111	10740	78

APÊNDICE B – Medidas das áreas antes e após instrumentação no comprimento de patência com V-File

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	53.661	119.931	-66.270	113
2	36.865	88.671	-51.806	140
3	31.578	143.916	-112.338	355
4	56.324	85.475	-29.151	51
5	54.582	86.741	-32.159	58
6	29.869	46.312	-16.443	55
7	19.111	60.217	-41.106	215
Média	40.284	90.180	-49.896	141
Desvio Padrão	14634	33244	31917	111

APÊNDICE C – Medidas das áreas antes e após instrumentação no comprimento de patência com UnivyOne

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	39.235	93.833	-54.598	139
2	30.294	79.579	-49.285	162
3	47.656	69.792	-22.136	46
4	60.652	99.176	-38.524	63
5	82.659	93.337	-10.678	12
6	31.352	82.145	-50.793	162
7	72.126	109.808	-37.682	52
Média	51.996	89.667	-37.671	91
Desvio Padrão	20409	13418	16147	61,86

APÊNDICE D – Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima Reciproc Blue no comprimento de patência

Dente	Comprimento Inicial (µm)	<u>Relação de Feret Inicial</u>	Comprimento Final (µm)	<u>Relação de Feret Final</u>
1 – Horizontal	344.371	1,12	510.378	1,66
1 – Vertical	307.951		307.421	
2 – Horizontal	205.358	1,31	362.126	1,17
2 – Vertical	157.285		421.927	
3 - Horizontal	257.475	1,17	304.636	1,14
3 – Vertical	219.269		266.556	
4 - Horizontal	302.330	1,01	561.258	1,73
4 – Vertical	303.987		323.510	
5 - Horizontal	242.052	1,34	318.937	0,96
5 – Vertical	181.183		305.648	
6 – Vertical	517.476	2,59	559.682	1,96
6 - Horizontal	199.674		285.004	
7 – Vertical	193.652	1,21	326.667	1,16
7 - Horizontal	159.835		281.667	
8 – Vertical	185.696	1,28	266.556	1,21
8 - Horizontal	145.139		322.852	
Média		1,38		1,37
Desvio Padrão		0,50		0,36

APÊNDICE E – Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima TDK V-File no comprimento de patência

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 – Horizontal	247.709	1,01	444.375	1,21
1 – Vertical	246.206		366.975	
2 - Horizontal	187.086	1,15	407.180	1,43
2 – Vertical	215.257		284.441	
3 - Horizontal	191.059	1,06	394.040	1,11
3 – Vertical	202.665		435.430	
4 - Horizontal	153.974	2,31	263.245	1,77
4 – Vertical	355.960		465.232	
5 - Horizontal	300.476	1,43	397.394	1,27
5 – Vertical	209.599		312.361	
6 – Vertical	292.967	2,33	247.508	1,08
6 - Horizontal	125.918		229.242	
7 – Vertical	168.101	1,20	187.825	2,02
7 - Horizontal	140.143		379.032	
Média		1,50		1,41
Desvio Padrão		0,58		0,36

APÊNDICE F – Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima UnivyOne no comprimento de patência.

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 - Horizontal	199.446	1,14	322.848	1,13
1 – Vertical	227.599		364.238	
2 - Horizontal	222.591	1,40	423.123	1,80
2 – Vertical	159.503		235.495	
3 - Horizontal	235.099	1,06	332.558	1,05
3 – Vertical	250.000		349.121	
4 - Horizontal	359.733	1,68	443.634	1,55
4 – Vertical	213.602		285.410	
5 - Horizontal	391.160	1,69	428.108	1,73
5 – Vertical	231.899		246.922	
6 – Vertical	230.489	1,27	322.304	1,13
6 - Horizontal	182.148		364.919	
7 – Vertical	124.063	3,71	176.080	3,16
7 - Horizontal	460.241		556.478	
Média		1,71		1,65
Desvio Padrão		0,92		0,73

**APÊNDICE G – Medidas das áreas antes e após instrumentação a +1mm com
Reciproc Blue**

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	35.927	167.119	131.192	365
2	80.390	150.440	70.050	87
3	41.889	106.428	64.539	154
4	28.025	102.954	74.929	267
5	46.631	110.984	64.353	138
6	16.362	105.801	89.439	546
7	41537	123954	82417	198
Média	41537	123954	82417	251
Desvio Padrão	19931	25201	23392	159

**APÊNDICE H – Medidas das áreas antes e após instrumentação a +1mm com
V-File**

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	32.800	175.210	-142.410	434
2	81.013	120.098	-39.085	48
3	28.587	171.039	-142.452	498
4	24.989	146.229	-121.240	485
5	36.630	130.446	-93.816	256
6	52.860	113.150	-60.290	114
7	28.348	178.391	-150.043	529
Média	40.747	147.795	-107.048	338
Desvio Padrão	19992	27383	43845	197

**APÊNDICE I –Medidas das áreas antes e após instrumentação a +1mm com
UnivyOne**

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	64.494	97.246	-32.752	50
2	114.797	176.857	-62.060	54
3	14.097	135.873	-121.776	863
4	51.839	113.720	-61.881	119
5	38.343	124.827	-86.484	225
6	85.327	162.314	-76.987	90
7	27.630	144.618	-116.988	423
Média	56.647	136.494	-79.847	261
Desvio Padrão	34824	27560	31746	296

APÊNDICE J – Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima Reciproc Blue a +1mm

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 – Horizontal	198.703	1,13	389.073	1,23
1 – Vertical	223.565		480.132	
2 - Horizontal	320.706	1,01	328.320	1,71
2 – Vertical	316.243		562.768	
3 - Horizontal	336.203	1,94	539.036	1,77
3 – Vertical	173.486		304.581	
4 - Horizontal	248.482	1,81	486.663	1,62
4 – Vertical	137.427		300.182	
5 - Horizontal	258.469	1,15	397.351	1,12
5 – Vertical	225.220		354.305	
6 – Vertical	175.058	1,51	445.955	1,32
6 - Horizontal	115.589		338.741	
7 – Vertical	73.391		256.623	
7 - Horizontal	76.484		185.430	
Média		1,42		1,46
Desvio Padrão		0,39		0,27

APÊNDICE K –Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima TDK V-File a +1mm

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 – Horizontal	164.452	1,43	524.391	1,33
1 – Vertical	235.880		395.338	
2 - Horizontal	195.364	2,28	367.550	1,41
2 – Vertical	444.514		517.810	
3 - Horizontal	207.351	1,28	563.851	1,40
3 – Vertical	162.555		402.750	
4 - Horizontal	198.845	1,32	435.430	1,03
4 – Vertical	150.167		422.185	
5 - Horizontal	273.204	1,83	509.807	1,42
5 – Vertical	149.631		359.641	
6 – Vertical	285.410	1,24	379.139	1,01
6 - Horizontal	230.807		374.172	
7 – Vertical	208.281	1,14	600.993	1,41
7 - Horizontal	182.885		425.497	
Média		1,50		1,29
Desvio Padrão		0,41		0,18

APÊNDICE L –Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima UnivyOne a +1mm

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 - Horizontal	164.452	2,92	331.126	1,50
1 – Vertical	480.066		495.430	
2 - Horizontal	414.377	1,17	481.728	1,02
2 – Vertical	354.537		470.100	
3 - Horizontal	147.317	1,27	394.040	1,07
3 – Vertical	115.684		422.189	
4 - Horizontal	264.040	1,04	382.450	1,04
4 – Vertical	253.479		369.205	
5 - Horizontal	364.166	2,49	482.776	1,30
5 – Vertical	146.330		370.544	
6 – Vertical	423.957	1,53	446.128	1,56
6 - Horizontal	276.584		286.845	
7 – Vertical	216.944	1,56	596.707	1,81
7 - Horizontal	138.698		330.235	
Média		1,71		1,33
Desvio Padrão		0,71		0,30

**APÊNDICE M – Medidas das áreas antes e após instrumentação a +2mm com
Reciproc Blue**

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	17.342	132.912	-115.570	666
2	63.278	221.807	-158.529	250
3	61.592	185.244	-123.652	200
4	78.549	169.290	-90.741	115
5	132.526	181.480	-48.954	36
6	25.752	145.867	-120.115	466
7	13.429	155.472	-142.043	1.057
Média	56.067	170.296	-114.229	399
Desvio Padrão	42171	29487	33110	361,24

**APÊNDICE N – Medidas das áreas antes e após instrumentação a +2mm com
V-File**

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	94.156	231.239	-137.083	145
2	65.956	232.188	-166.232	252
3	52.543	153.491	-100.948	192
4	35409	160908	125499	354
5	23.230	162.346	-139.116	598
6	36.246	161.180	-124.934	344
7	38.683	204.908	-166.225	429
Média	49460	186609	137148	331
Desvio Padrão	23998	35111	23418	154

**APÊNDICE O – Medidas das áreas antes e após instrumentação a +2mm com
UnivyOne**

Dente	Área Inicial (μm^2)	Área Final (μm^2)	Diferença	Porcentagem de aumento (%)
1	67.568	161.602	-94.034	139
2	113.043	161.194	-48.151	42
3	55.756	165.478	-109.722	196
4	83.277	164.285	-81.008	97
5	72016	164069	92053	128
6	76890	170154	93264	121
7	40.434	167.785	-127.351	314
Média	72712	164938	92226	149
Desvio Padrão	24866	2457	24538	87

APÊNDICE P – Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima Reciproc Blue a +2mm

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 – Horizontal	147.878	1,06	436.877	1,11
1 – Vertical	139.545		392.027	
2 - Horizontal	326.159	1,25	588.040	1,19
2 – Vertical	261.589		495.017	
3 - Horizontal	275.578	1,00	478.477	1,03
3 – Vertical	275.578		493.377	
4 - Horizontal	326.159	1,13	481.788	1,07
4 – Vertical	289.735		448.675	
5 - Horizontal	460.160	1,25	495.033	1,10
5 – Vertical	367.204		450.331	
6 – Vertical	211.765	1,35	565.831	1,85
6 - Horizontal	156.924		306.027	
7 – Vertical	143.069	1,26	387.738	1,36
7 - Horizontal	113.213		529.004	
Média		1,19		1,25
Desvio Padrão		0,13		0,29

APÊNDICE Q –Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima TDK V-File a +2mm

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 - Horizontal	337.273	1,05	684.385	1,71
1 – Vertical	354.068		400.336	
2 - Horizontal	349.647	1,80	535.890	1,01
2 – Vertical	194.096		541.890	
3 - Horizontal	194.719	1,73	426.910	1,05
3 – Vertical	336.634		448.505	
4 - Horizontal	209.560	1,12	480.066	1,08
4 – Vertical	187.445		445.183	
5 - Horizontal	193.719	1,30	403.107	1,15
5 – Vertical	149.335		464.359	
6 – Vertical	265.157	1,53	411.667	1,19
6 - Horizontal	173.427		490.000	
7 – Vertical	238.191	1,21	413.615	1,46
7 - Horizontal	197.220		605.539	
Média		1,39		1,24
Desvio Padrão		0,30		0,26

APÊNDICE R – Medidas dos diâmetros dos forames e a Relação de Feret, antes e após instrumentação com a lima UnivyOne a +2mm

Dente	Comprimento Inicial (µm)	Relação de Feret Inicial	Comprimento Final (µm)	Relação de Feret Final
1 – Horizontal	255.819	1,14	506.623	1,26
1 – Vertical	290.702		402.318	
2 – Horizontal	393.388	1,08	435.000	1,08
2 – Vertical	363.427		468.333	
3 – Horizontal	362.556	2,26	511.077	1,18
3 – Vertical	160.212		433.711	
4 – Horizontal	263.208	1,00	449.335	1,05
4 – Vertical	264.178		426.956	
5 – Horizontal	236.134	0,89	478.659	1,13
5 – Vertical	265.124		425.356	
6 – Vertical	242.462	2,00	414.265	1,45
6 – Horizontal	121.274		284.727	
7 – Vertical	259.237	1,38	528.146	1,33
7 – Horizontal	187.854		397.351	
Média		1,39		1,21
Desvio Padrão		0,53		0,14

APÊNDICE S - Análise geométrica das limas Reciproc Blue (em mm) (D1 a D6).

	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D5 (mm)	D6 (mm)
Lima 1	0,27	0,35	0,46	0,54	0,60	0,64
Lima 2	0,33	0,40	0,46	0,55	0,61	0,67
Lima 3	0,30	0,41	0,52	0,58	0,61	0,69
Lima 4	0,29	0,38	0,47	0,55	0,62	0,67
Lima 5	0,29	0,40	0,49	0,54	0,60	0,68
Lima 6	0,29	0,39	0,49	0,57	0,63	0,69
Lima 7	0,33	0,43	0,50	0,57	0,65	0,70
Lima 8	0,33	0,42	0,50	0,58	0,66	0,73
Lima 9	0,31	0,37	0,45	0,54	0,62	0,71
Lima 10	0,31	0,36	0,45	0,53	0,61	0,70
Média	0,31	0,39	0,48	0,55	0,62	0,69
Desvio Padrão	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03

APÊNDICE T - Análise geométrica das limas V-File (em mm) (D1 a D6).

	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D5 (mm)	D6 (mm)
Lima 1	0,33	0,42	0,50	0,58	0,63	0,68
Lima 2	0,34	0,41	0,50	0,56	0,60	0,65
Lima 3	0,32	0,39	0,48	0,54	0,60	0,65
Lima 4	0,34	0,43	0,52	0,59	0,63	0,66
Lima 5	0,32	0,42	0,50	0,58	0,64	0,69
Lima 6	0,35	0,43	0,49	0,58	0,64	0,70
Lima 7	0,35	0,42	0,49	0,55	0,62	0,68
Lima 8	0,33	0,40	0,48	0,55	0,62	0,66
Lima 9	0,32	0,41	0,49	0,59	0,64	0,69
Lima 10	0,32	0,39	0,47	0,55	0,62	0,67
Média	0,33	0,41	0,49	0,57	0,62	0,67
Desvio Padrão	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

APÊNDICE V – Momentos de Dobramento resultantes dos ensaios de flexão a 45° (n.cm)

	Reciproc Blue	V-File	Univy One
Lima 1	0,56	0,56	0,36
Lima 2	0,62	0,78	0,26
Lima 3	0,50	0,94	0,32
Lima 4	0,50	0,84	0,44
Lima 5	0,53	0,63	0,47
Lima 6	0,60	0,69	0,35
Lima 7	0,49	0,70	0,16
Lima 8	0,60	0,83	0,31
Lima 9	0,54	0,77	0,43
Lima 10	0,53	0,59	0,35

APÊNDICE W – Artigo científico submetido na revista Journal of Dental Research

Foraminal enlargement using Reciproc Blue and two replica-like instruments

Cícero Ferreira Maia¹, Gustavo Oliveira Campos¹, Isabella Figueiredo de Macedo¹, Leandro Arruda Santos², Isabella Faria da Cunha Peixoto¹, Ana Cecília Diniz Viana¹

¹Restorative Dentistry Department, School of Dentistry, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brazil

²Department of Metallurgical and Materials Engineering, Engineering School, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brazil

Name and address of the corresponding author:

Ana Cecília Diniz Viana

Restorative Dentistry Department, School of Dentistry, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

R. Prof. Moacir Gomes de Freitas, 688 - Pampulha

CEP. 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brazil.

Tel.: (31) 992968631, e-mail: acdiana@ufmg.br

Acknowledgments

Funding: This research was financed in part by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Author contributions: C.F.Maia contributed to conception, design, data acquisition and interpretation, performed all statistical analyses; G.O. Campos contributed to data

acquisition, quality assessment and visualization; I.F. Macedo contributed data interpretation and writing (review/editing) L.A.Santos contributed to project administration, resources and writing (review/editing); I.F.C. Peixoto contributed to conception, methodology design, and critically revised the manuscript; A.C.D. Viana contributed to conception, methodology design, data acquisition, project administration, resources, supervision and writing (review/editing). All authors read and approved the final manuscript.

Disclosure statement: All authors certify that they do not have any commercial or associative interest that represents a conflict of interest in relation to the manuscript.

Abstract word count: 370

Total word count: 3368 (including tables)

Total number of tables: 2

Total number of figures: 3

Number of references: 29

Keywords Endodontics, root canal preparation, scanning electron microscopy, tooth apex, apical foramen, tooth root

ABSTRACT

AIM To evaluate, by means of Scanning Electron Microscopy, morphological alterations of the apical foramen, enlargement and centralization of apical preparation after instrumentation of root canals in extracted teeth using Reciproc Blue R25 files and two replicas, TDK V-File system and UnivyOne files. Also related to the behavior of these instruments to their flexibility and geometric characteristics.

METHODOLOGY Forty-eight extracted premolars were divided into 9 groups. Each group with 7 canals was instrumented in one of the 3 following situations: working lengths at the foramen, one millimeter beyond, or two millimeters beyond the foramen. Also related the behavior of these instruments to their flexibility, through 45° bending tests, and geometric characteristics. Descriptive analyzes were performed. Shapiro-Wilk normality test, one-way ANOVA with Tukey's post-test and paired t test, and Kruskal-Wallis tests were performed with Dunn post-test and Wilcoxon test. Significance level of 5%.

RESULTS Regarding foraminal enlargement, all canals showed an increase in the final area, with no statistical difference between the instrument systems and working lengths evaluated ($P > 0.05$). No difference was found in the Feret Ratio obtained for the groups, both before and after instrumentation, demonstrating that there was no significant apical transport in any of the evaluated situations. Besides having a larger diameter in its apical portion, Univy One system was more flexible than Reciproc Blue and V-File ($P < 0.001$).

CONCLUSION An over-instrumentation of one or two millimeters beyond root apex prove to be a way to increase the diameter of the foramen and its cleaning, without causing foraminal deformations. Although Reciproc Blue systems and their replicas are not the same in terms of geometry and flexibility, there was no difference between them in terms of foraminal enlargement and apical transport, in any of the evaluated situations.

Keywords: Endodontics, root canal preparation, scanning electron microscopy, tooth apex, apical foramen.

INTRODUCTION

One of the biggest challenges in Endodontics is to overcome the great morphological variability of the root canal system and promote an adequate disinfection in all its extension. The classic approach adopted by many endodontists has been to advocate that the ideal working length is around 1 mm short of the radiographic root apex. However, this canal extension has enough physical space to harbor many bacteria, therefore, when not instrumented, this portion remains infected, with the potential to lead to treatment failure. In view of this, it is currently recommended that the endodontist should also intervene in the apical foramen, promoting its cleaning (De-DEUS *et al.*, 2015; PINHEIRO *et al.*, 2017).

Cleaning the foramen is performed by an instrument that runs the entire length of the canal from a coronary reference point to the foraminal opening. This measurement is called the apical patency. The need to reach the foramen is justified by biological and mechanical reasons. In addition, apical patency prevents the accumulation of debris, keeping the foramen clear, favoring disinfection in this region (PINHEIRO *et al.*, 2017).

Due to its innovative design, predictable behavior and resistance, the Reciproc Blue system (VDW, Munich, Germany) has become one of the most used root canal preparation systems in several countries. Probably due to its worldwide acceptance, several similar instruments have become available on the market. These instruments were defined as “replica-like” because they have similar design characteristics, technique of use, color coding and equivalent nomenclature. Although replicas of Reciproc Blue are already available on the market, currently there is little scientific support regarding the standardization of its characteristics, efficiency and safety (RODRIGUES *et al.* 2018, SILVA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2021).

The NiTi TDK V-File systems (TDK, Shenzhen, China) and Univy One (Universo Odonto, São Paulo, Brazil) are replicas of the Reciproc Blue system (VDW, Munich, Germany) and so far, there are no studies in the literature about these systems. According to the manufacturers, these replicas have an inverted S-shaped cross-section, with two cutting edges, a geometry similar to that of the Reciproc Blue system,

and same tip and taper. Despite having similar characteristics of design, technique and color coding, replicas are marketed with little scientific support regarding the standardization of their characteristics, mechanical behavior, efficiency and safety.

The aim of this study was to evaluate, by means of Scanning Electron Microscopy (SEM), the morphological alterations of the apical foramen, the enlargement and centralization of the apical preparation after instrumentation of root canals in extracted teeth using Reciproc Blue R25 reciprocating files and two of its replicas, the NiTi TDK V-File systems and UnivyOne Files, associating the behavior of these instruments to their flexibility and geometric characteristics. The null hypothesis tested was that there is no difference between the three tested systems or working lengths situations.

MATERIALS AND METHODS

Forty-eight bicuspid teeth with preserved root canals, independent exit foraminas and similar curvature radii were selected and had their crowns removed, leaving all teeth approximately 15mm in length. Root canal exploration was performed with Kerr #10 manual files (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). The actual length of the tooth was determined by viewing the apical foramen at the end of the #10 file under 3x magnification. The irrigating solution was 2.5% sodium hypochlorite, with abundant irrigation before, during and after instrumentation.

After the initial exploration, the teeth were randomly separated into 9 groups (7 canals each) according to the system of NiTi files that were instrumented:

- Reciproc Blue R25 System (RB) (VDW, Munich, Germany): RB0 – Instrumentation with working length equal to the patency length; RB1 – working length exceeding 1mm beyond the patency and RB2 – working length exceeding 2mm beyond the patency length;
- TDK V File #25 System (VF) (TDK, Shenzhen, China): VF0 – Instrumentation with working length equal to the patency length; VF1 – working length exceeding 1mm beyond the patency and VF2 – working length exceeding 2mm beyond the patency length;
- UnivyOne System #25.08 (UO) (Universo Odonto, São Paulo, Brazil): UO0 – Instrumentation with working length equal to the patency length; UO1 – working length

exceeding 1mm beyond the patency and UO2 – working length exceeding 2mm beyond the patency length;

The reciprocating instruments were driven by an X-Smart Plus electric motor (Dentsply Sirona Endodontics, Tulsa, OK, USA) with adjustment in the “RECIPROC” mode, as recommended by the manufacturers. Abundant irrigation was carried out with 2.5% sodium hypochlorite before, during and after instrumentation.

Previously to Scanning Electron Microscopy, SEM, (Inspect S50, FEI) examination under magnification $\times 50$ and $\times 150$, teeth passed through 10 minutes agitation under 70% alcohol in the ultrasonic tank. Teeth were left in a desiccator for 2 weeks and then the roots were metallized (gold bath) in a vacuum chamber (SPI Module) with a sputtering period of 120 seconds.

The samples were mounted in a specific sample holder, to prevent movement and allow the evaluation to be carried out at the same position before and after instrumentation. The images of the foramina before and after instrumentation were analyzed and measured using the Image J 1.48 software (ImageJ; National Institutes of Health, Bethesda, MD). A trained examiner, blinded to the group assignment of each sample analyzed, manually marked the apical foramen boundary using the software drawing function. The area (in μm^2) and diameters of the apical foramen in its largest perpendicular extensions were calculated before and after root canal shaping (Figure 1). The amount of transport was measured from cross-sectional images of the diameters of the foramina before and after canal preparation (Feret diameters). A ratio of Feret's diameters was calculated as the ratio between the maximum and minimum Feret's diameter, the closer to 1, the more circular the foramen is considered and the less apical transport is observed.

(Figure 1)

Some instruments were also selected to be analyzed by scanning electron microscopy – SEM (JSM 6360, Jeol, Tokyo, Japan) and to assess the dimensional characteristics based. Instruments (n=10) of each system were randomly chosen and photographed using a high-resolution digital camera (EOS 20D; Canon, Tokyo, Japan). Lines were drawn on the instrument images, and the outermost diameter of the D1 to D6 diameters from the tip were determined using ImageJ 1.48V.

Bending resistance tests were performed to assess instruments flexibility. Resistance to bending was determined by using a testing apparatus built according to ISO 3630-1 (International Organization for Standardization, 1992). Ten instruments (n=10) from each group were subjected to a testing machine (Analógica, Belo Horizonte, Brazil) with the instruments fixed at 3 mm from the tip, perpendicular to the axis of the geared motor. A specifically designed computer program adjusted the zero angular position when the bending lever touched the instrument shaft and set the lever in motion until the instrument was bent 45° in relation to its long axis with a speed of 0,5 rpm. The bending moment (BM) was then automatically measured and recorded by the load cell.

Statistical analysis was performed using the SPSS – Statistical Package for the Social Sciences program (version 21.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Descriptive analyzes were performed using absolute, mean, median and standard deviation frequencies. Shapiro-Wilk normality test was used to evaluate the distribution of continuous variables according to the groups and file systems analyzed. For variables with normal distribution, one-way ANOVA with Tukey's post-test and paired t test were performed. For variables with non-normal distribution, Kruskal-Wallis tests were performed with Dunn post-test and Wilcoxon test. For all tests, a significance level of 5% was considered. The project was approved by the UFMG Human Research Ethics Committee CAAE 70687822.0.0000.5149.

RESULTS

Figure 2 exemplifies images of the apical foramina before and after canal instrumentation, in situations where the working length was equal to the patency length, working length 1mm beyond the apex and working length 2mm beyond the apex.

(FIGURE 2)

Table 1 summarizes the averages of the foramen areas before and after instrumentation considering the level of instrumentation and reciprocating systems evaluated.

(TABLE 1)

The results showed that there was no statistical difference in the initial diameter of the foramina in the nine evaluated groups, demonstrating the similarity of the anatomy of the teeth, independently of the group in which they were found, preliminarily. When instrumentation was performed at the level of the apical foramen, the greatest increase in area after preparation was caused by the VF system, corresponding to a 144% increase in the area of the foramen after instrumentation, followed by the RB and UO systems, with 122 % and 91%, respectively. After an over-instrumentation of 1mm beyond the apex, VF system caused a 338% increase in foraminal area after instrumentation, followed by the RB and UO systems, with 260% and 261%, respectively. In the situation where the tip of the instruments exceeds 2mm beyond the foramen, the Reciproc Blue system presented the highest percentage of increase in the area of the foramen after instrumentation (399%), followed by the TDK V-File instruments (327%) and Univy One (158%).

Table 2 shows the results of the Feret Ratio before and after instrumentation in measuring the patency length of the canal, 1mm or 2mm beyond, with the three files systems evaluated.

(TABLE 2)

No statistical difference was found among any of the groups and this means that, for the preparation performed at the foramen level or beyond it, although the foramina were enlarged, they were not transported and remained in position and circumference similar to the original ones.

In a qualitative analysis of the images of the active part of the instruments obtained in SEM (Figure 3), it is observed that, although VF and UO are marketed as replicas of the RB instruments, the differences between them are visible, especially with regard to the design of the cutting spirals, tip design, surface finishing and cross-section design.

(FIGURE 3)

As the instruments are said to be replicas and have the same nominal diameters and taper according to the manufacturers (tip #25 and taper .08 in the initial millimeters), it was expected to find reproducibility along the entire active part measured from the files of the three evaluated systems. However, considering the

diameter measurements on D1, the Reciproc Blue file system had a smaller diameter compared to the V-File file system and this difference was statistically significant ($P = 0.021$). No significant difference was found compared to the Univy One file system. Considering the diameter measurements at D3 and D4, the Reciproc Blue file system had a smaller diameter compared to the Univy One file system ($P = 0.039$ and $P = 0.017$). No statistically significant difference was found compared to the V-File file system.

The standard deviations between all measures were considered low, which demonstrates that there is dimensional uniformity in all the different commercial systems analyzed. The fixed taper characteristic of 8% of these instruments was shown up to D6 in the RB instruments and only up to D4 in VF and UO.

Regarding the results of the bending tests at 45° , the smaller the bending moment, the more flexible the instrument can be considered. The file with the greatest flexibility was the UnivyOne [$0,35 (\pm 0,09)$ N.cm], followed by the Reciproc Blue [$0,55 (\pm 0,05)$], and finally the V File file [$0,73 (\pm 0,12)$] ($p < 0.001$).

DISCUSSION

The apical limit of instrumentation is a controversial topic in Endodontics. Several authors point out that canal cleaning and shaping should be performed up to or beyond the apical foramen, with the argument that foraminal enlargement may be associated with a more favorable and predictable repair, improving disinfection in the apical third, cleaning the cemental foramen, and thus improving the healing of necrotic teeth (De-DEUS et al., 2015; PINHEIRO et al., 2017). This procedure facilitates irrigation in the apical third of the canal and promotes more favorable conditions for healing (DAOU et al., 2020). In addition, larger apical size preparations also demonstrated greater microbial reduction in the apical third. (VERTUCCI, 1984, 2005; PINHEIRO et al., 2017).

This work evaluated foraminal enlargement performed by Reciproc Blue instruments and two replica instrument systems, the TDK V-File systems and the Univy One system, in different working length situations: at patency length, 1mm beyond CPC and 2mm beyond of the CPC. Regardless of the instrument system used or the

different working lengths, all groups showed significant enlargement of the apical foramina areas after instrumentation, ranging from 91% to 399% increase. This is evidence that the reciprocating files used achieved the objective of enlarging the foramen and, consequently, performing adequate cleaning. Using the same instrument for finalizing the preparation and for foraminal enlargement, only changing the working length at which it acts, is a way of getting a larger diameter part of the instrument touching the foramen walls, increasing preparation area and consequently cleaning walls, without the need to add more instruments in the operative sequence.

Different working lengths could influence not only the amount of magnification, since the instruments are conical and have larger diameters in over-instrumentation situations, but also a greater potential for transport. Over-instrumentation of the foramina at different levels also did not lead to greater apical transport or deformation of the same.

Many methodologies have been cited to assess the morphology of the foramen; these include the stereomicroscope, computed microtomography imaging, and scanning electron microscopy. In the present study, SEM was used because it allows the visualization of images at high magnification, increases the accuracy of measurements and is an accessible method to be performed on a large number of teeth. Regarding apical foramen deformation, other studies also use SEM images for evaluation, in which magnification ranging from 50x to 150x was reported (SILVA et al. 2016; MARIN, 2019; SOUZA et al. 2021).

The analysis of the deformation or transportation of the foramen after foraminal enlargement can be done based on qualitative analysis of images and attribution of scores (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2016; SILVA-SANTOS et al., 2018; VIEIRA et al., 2020; SOUZA et al., 2021). However, presenting the results through measures and numerical parameters, such as the Feret Ratio used in the present study, allows a statistical comparison and greater reliability in the considerations, as observed by other authors with similar works (LIU et al., 2013; YAMMINE et al., 2017; FROTA et al., 2018; MARINS et al., 2020; SCHIMIDT, 2019; DAOU et al., 2020; BEZERRA et al., 2021).

The manufacture and commercialization of endodontic instruments has grown considerably in recent years, mainly with the importation of instruments from Asia

(LIANG & YUE, 2022). Some instruments, called replica-like instruments, generally have similar characteristics to instruments already recognized as golden standards, and are marketed despite little scientific evidence of their physical and mechanical properties (MARTINS et al., 2020; MARTINS et al., 2021; MARTINS et al., 2020; MARTINS et al., 2021; MARTINS et al. al., 2023; USLU, HAZNEDAROGLU & KESKIN, 2023). Reciproc Blue instruments have achieved remarkable success and widely accepted in global market due to its properties and numerous scientific publications, being a reference in instrument quality (DE-DEUS et al., 2017; GENERALI et al., 2020; MARTINS et al. al., 2021). Some companies have developed instruments that replicate the characteristics of Reciproc Blue, such as the Univy One instruments (Universo Odonto, São Paulo, Brazil), TDK V File (TDK Files, Shenzhen, China) and so far, little is known about their characteristics and properties.

It is known that the geometric characteristics of the instruments directly interfere with their mechanical properties, such as their flexibility (PEREIRA et al., 2015). Larger diameters and greater mass volume in instrument section design are factors that can lead to less flexibility. Analyzing the characteristics of the cross-section of the instruments through the SEM images, it is observed that, although all of them present an “S”-shaped design with two cutting edges, there is a lot of variation between them, mainly with regard to the volume of constituent material. And, although the dimensional reproducibility between the instruments was considered good, some existing variation between the diameters could also alter their properties. Contrary to expectations, the UO instruments were more flexible than the others, although they had a greater volume of material in the section and a larger diameter than the RB instruments. There is probably a strong influence of the type of heat treatment applied to these instruments. The presence of R-phase or martensite at room temperature may favor the mechanical properties of files, since martensite has a lower modulus of elasticity than austenite, and therefore more flexibility and resistance to flexural fatigue (GAVINI et al., 2018; TABASSAUM, ZAFAR & UMER, 2019).

The flexibility of the instrument is an important property, especially for modeling curved root canals (GAVINI et al., 2018). This feature is related to the ability of the instrument to maintain the original path of the root canal, with less restoration force and consequently less predisposition to cause iatrogenic and preparation errors (VIANA et al., 2010; RAZCHA et al., 2020). In this study, there was a significant

difference between the flexibility of the evaluated instruments, but, surprisingly, this variation did not translate into a higher apical transport index. The advantages of reciprocating kinematics are to some extent based on the concept of balanced force. This technique has shown its clinical relevance in maintaining the root curvature with minimal distortion and may have been determinant for this result (ROANE et al., 1985; PRUETT et al., 1997, Yared, 2008). In addition, heat treatments provide flexibility and cutting capacity to the instruments, even if they are different from each other, which can also justify the current results.

CONCLUSION

This study showed that foraminal enlargement, whether performed at the level of the apical foramen or beyond it, causes an increase in the area of the foramen without causing significant deformation or apical transport. Although TDK V-File and Univy One instruments are marketed as replicas of the Reciproc Blue system, none of them showed the same geometric characteristics or mechanical behavior measured in flexibility tests. However, these differences were not enough to change the ability of these instruments to maintain the centralization of the apical preparation performed on extracted teeth.

REFERENCES

DAOU, C., *et al.* Effect of 2 Heat-treated Nickel-Titanium Files on Enlargement and Deformation of the Apical Foramen in Curved Canals: A Scanning Electronic Microscopic Study. **Journal of Endodontics**, v. 46, n. 10, p. 1478–1484, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.07.019>

DE-DEUS G, *et. al.* Micro-CT evaluation of non-instrumented canal areas with different enlargements performed by NiTi systems. **Brazilian Dental Journal**, v.26, p.624-629, 2015.

Frota, M. M. A., *et al.* Debris extrusion and foraminal deformation produced by reciprocating instruments made of thermally treated NiTi wires. **Journal of Applied Oral Science**, v.26, 2018. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2017-0215>

GAVINI G, *et al.* Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of art. **Brazilian Oral Research**, v.32, p.44-65, 2018.

GENERALI, L. *et al.* Mechanical properties and metallurgical features of new and ex vivo used Reciproc Blue and Reciproc. **International Endodontic Journal**, v.53, n.2, p. 250-264, 2020. <https://doi.org/10.1111/iej.13214>

LIANG, Y.; YUE, L. Evolution and development: engine-driven endodontic rotary nickel-titanium instruments. **International Journal of Oral Science**, v.14, n.1, p.12, 2022.

LIU R, *et al.* Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. **Journal of Endodontics**, v.39, n.1, p.129-32, 2013.

MARIN, MCC. Avaliação da variação de área e transporte foraminal após preparo e ampliação apical. [São José dos Campos]: **Universidade Estadual Paulista (Unesp)**; 2019.

MARTINS JNR, *et al.* Influence of kinematics on the cyclic fatigue resistance of replicalike and original brand rotary instruments. **Journal of Endodontics**, v.46, p.1136-43, 2020a.

MARTINS J.N.R., *et al.* Mechanical performance and metallurgical features of Protaper Universal and 6 replicalike systems. **Journal of Endodontics**, v.46, p. 1884-93, 2020b.

MARTINS J.N.R., *et al.* Comparison of design, metallurgy, mechanical performance and shaping ability of replica-like and counterfeit instruments of the ProTaper Next system. **International Endodontic Journal**, v.54, p.780–792, 2021a.

MARTINS, J. N. R., *et al.* Design, metallurgical features, mechanical performance and canal preparation of six reciprocating instruments. **International Endodontic Journal**, v.54, n.9, p. 1623-37, 2021b. <https://doi.org/10.1111/iej.13529>

MARTINS, J.N.R. *et al.* Comparison of Geometric Design, Metallurgical Features and Mechanical Behavior of ProTaper Gold SX and Two Replica-like Instruments. **Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentaria e Cirurgia Maxilofacial**, v.62, n.1, p.1-8, 2021.

MARTINS, J.N.R. *et al.* Comparative analysis of reciprocating and flat-side heat-treated rotary single-file system: design, metallurgical characteristics and mechanical performance. **International Endodontic Journal**, v.56, n.7, p.896-908, 2023.

PINHEIRO, S. R. *et al.* Evaluation of apical transportation and centering ability of five thermally treated NiTi rotary systems. **International Endodontic Journal**, 2017 – . doi:10.1111/iej.12881

PRUETT JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of Endodontics**; v.23, p.77–85, 1997.

RAZCHA, C. *et al.* Micro-computed tomographic evaluation of canal transportation and centering ability of 4 heat-treated nickel-titanium systems. **Journal of Endodontics**, v.46, n.5, p.675-681, 2020.

ROANE, J. B.; SABALA, C. L.; DUNCANSON, M.G. The “Balanced Force” concept for instrumentation of curved canals. **Journal of Endodontics**, v.11, n.5, p.203-211, may.1985.

SILVA D, *et al.* Evaluation of foraminal transportation during foraminal enlargement with different instrumentation systems. **Brazilian Journal of Oral Science**, v.13, n.4, p.246-50, 2014.

SILVA JM, *et al.* Influence of working length and foraminal enlargement on foramen morphology and sealing ability. **Indian Journal of Dental Research**, v.27, p.66-72, 2016

SILVA SANTOS AM, *et al.* Foraminal deformation after foraminal enlargement with rotary and reciprocating kinematics: a scanning electronic microscopy study. **Journal of Endodontics**, v.44, p.145-8, 2018.

SOUZA MA, *et al.* Evaluation of apical transportation and apical root sealing in root canals prepared with mtwo rotary system with and without apical enlargement - an In Vitro study. **Bioscience Journal**, n.37, p.1-8, 2021.

TABASSUM, S, *et al.* Nickel-Titanium Rotary File Systems: What's New? **European Endodontic Journal**, v.4, n.3, p.111-117, 2019.

USLU, O.; HAZNEDAROGLU, F.; KESKIN, C. Comparison of mechanical resistance and standardisation between original brand and replica-like endodontic system. **Australian Endodontic Journal**, v.49, n.1, p.149-158, 2023.

VIANA, A.C.D. *et al.* Relationship between flexibility and physical, chemical, and geometric characteristics of rotary nickel-titanium instruments. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v.110, n.4, p.527-533, 2010.

VIEIRA MLO, *et al.* Morphologic Changes of Apical Foramen and Microcrack Formation after Foraminal Enlargement: A Scanning Electron Microscopic and Micro-computed Tomographic Analysis. **Journal of Endodontics**, v.46, n.11, p.1726-1732, 2020.

VERTUCCI FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology**. v.58, n.5, p.589-99, 1984.

VERTUCCI FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. **Endodontic Topics**. v.10, p.3-29, 2005.

YAMMINE S, *et al.* Foramen changes following over instrumentation of curved canals with three engine-driven instruments: An in vitro study. **Iranian Endodontic Journal**, v.12, n.4, p.454-61, 2017.

Figure legends

Figure 1: Example of measurements taken at the apical foramina. Areas and Feret's ratio were measured before and after canal instrumentation.

Figure 2 Apical foramina before (left) and after canal instrumentation (right), in situations where the working length was equal to the patency length (A and B), working length 1mm beyond the apex (C and D) and working length 2mm beyond the apex (E and F).

Figure 3 Scanning electron microscopy images of the RB and replica-like instruments showing (from top to bottom) the active part of the instruments - SEM (70x); the tip of the instruments - SEM (400x); the cross-section of the instruments at 3 mm from the tip – SEM (1000x).

Table 1 – Comparison of initial and final area between groups according, considering the level of instrumentation.

Group	Inicial area (µm ²)		P	Final area (µm ²)		P	
	Mean (SD)	Median [Min – Max]		Mean (SD)	Median [Min – Max]		
0mm	RB0	55567,86 (± 32206,36)	46243 [21005 – 102457]	,463*	86984,29 (± 27111,34)	70550 [63585 – 131339]	,970*
	VF0	40284 (± 14633,92)	36865 [19111 – 56324]		90180,43 (± 33244,30)	86741 [46312 – 143916]	
	UO0	51996,29 (± 20409,12)	47656 [30294 – 82659]		89667,14 (± 13418,08)	93337 [69792 – 109808]	
+1mm	RB1	41537,29 (± 19930,94)	41537 [16362 – 80390]	,660†	123954,29 (± 25201,31)	110984 [102954 – 167119]	,274*
	VF1	40746,71 (± 19992,06)	32800 [24989 – 81013]		147794,71 (± 27382,54)	146229 [113150 – 178391]	
	UO1	56646,71 (± 34823,80)	51839 [14097 – 114797]		136493,57 (± 27562,26)	135873 [97246 – 176857]	
+ 2mm	RB2	56066,86 (± 42171,41)	61592 [13429 – 132526]	,371*	170296,00 (± 29487,31)	169260 [132912 – 221807]	,925†
	VF2	49460,43 (± 23998,44)	38683 [23230 – 94156]		186608,07 (± 35111,26)	162346 [153491 – 232188]	
	UO2	72712,00 (± 22774,19)	72016 [40434 – 113043]		164938,14 (± 3212,77)	164285 [161194 – 170154]	

SD = Standard Deviation; Min = Minimum; Max = Maximum; P-value = Probability Value.

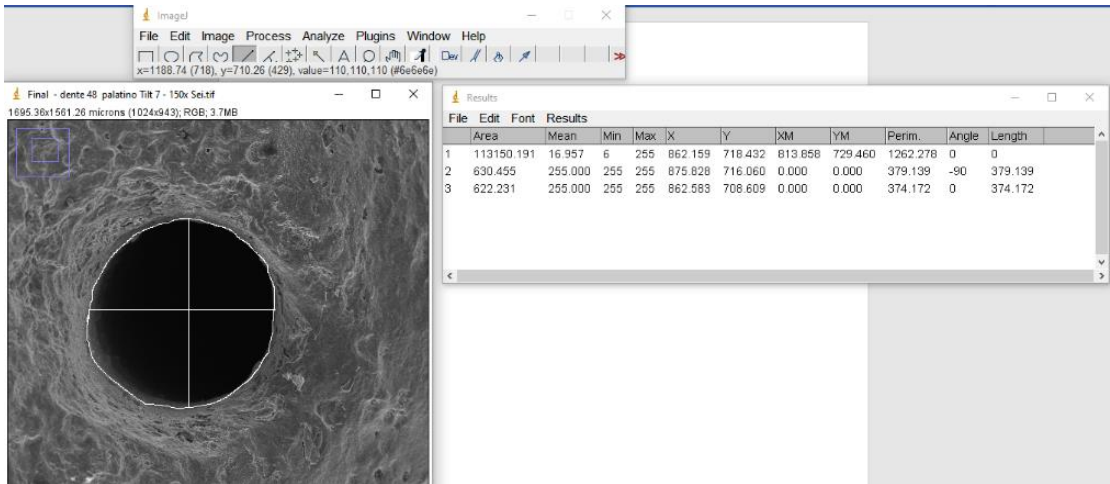
*One-way ANOVA; †Kruskal-Wallis

Table 2 – Comparison of initial and final Feret Ratio between groups according to instrumentation level.

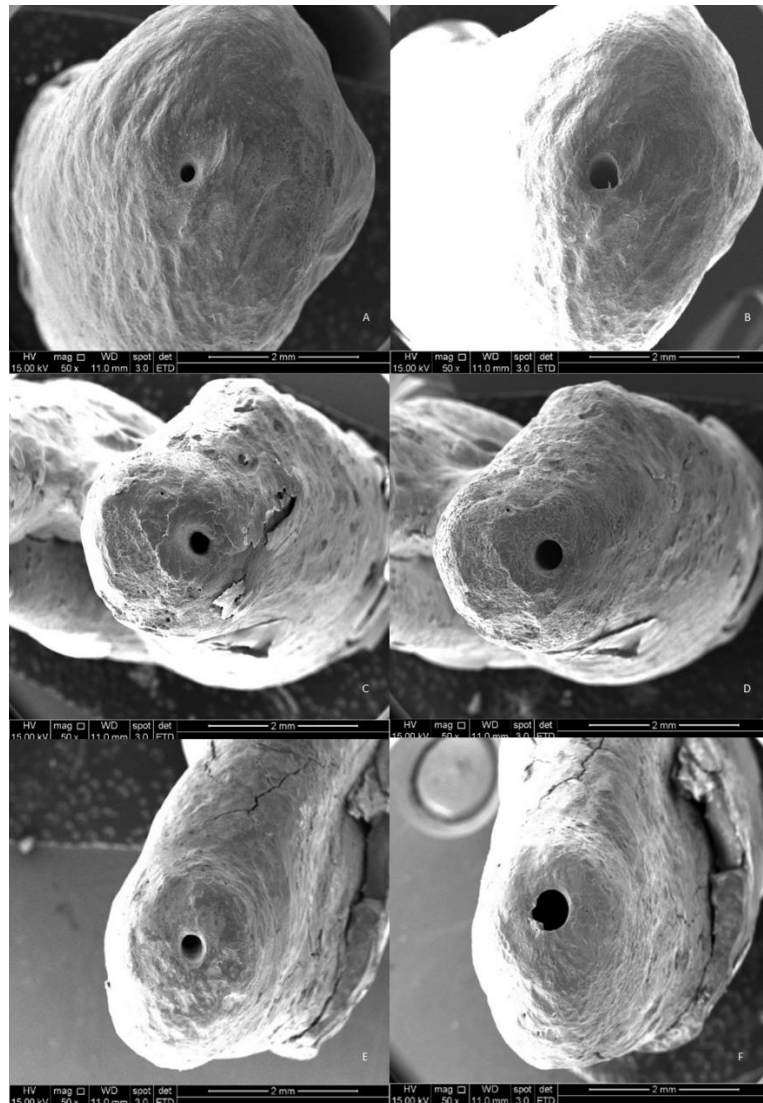
Group	Initial Feret Ratio		Final Feret Ratio		P
	Mean (SD)	Median [Min – Max]	Mean (SD)	Median [Min – Max]	
RB0	1,38 (± 0,50)	1,24 [1,01 – 2,59]	1,37 (± 0,36)	1,19 [0,96 – 1,96]	,575‡
RB1	1,42 (± 0,39)	1,33 [1,01 – 1,94]	1,46 (± 0,27)	1,47 [1,12 – 1,77]	,807‡
RB2	1,19 (± 0,13)	1,24 [1,00 – 1,35]	1,25 (± 0,29)	1,11 [1,03 – 1,85]	,735‡
VF0	1,50 (± 0,58)	1,20 [1,01 – 2,33]	1,41 (± 0,36)	1,27 [1,08 – 2,02]	,999‡
VF1	1,50 (± 0,41)	1,32 [1,14 – 2,28]	1,29 (± 0,18)	1,40 [1,01 – 1,42]	,176‡
VF2	1,39 (± 0,30)	1,29 [1,05 – 1,80]	1,24 (± 0,26)	1,15 [1,01 – 1,71]	,451‡
UO0	1,71 (± 0,92)	1,39 [1,06 – 3,71]	1,65 (± 0,73)	1,55 [1,05 – 3,16]	,397‡
UO1	1,71 (± 0,71)	1,53 [1,04 – 2,92]	1,33 (± 0,30)	1,30 [1,02 – 1,81]	,166‡
UO2	1,39 (± 0,53)	1,14 [0,89 – 2,26]	1,21 (± 0,14)	1,18 [1,05 – 1,45]	,344‡
P		,710†		,674†	

SD = Standard Deviation; Min = Minimum; Max = Maximum; P = Probability Value.

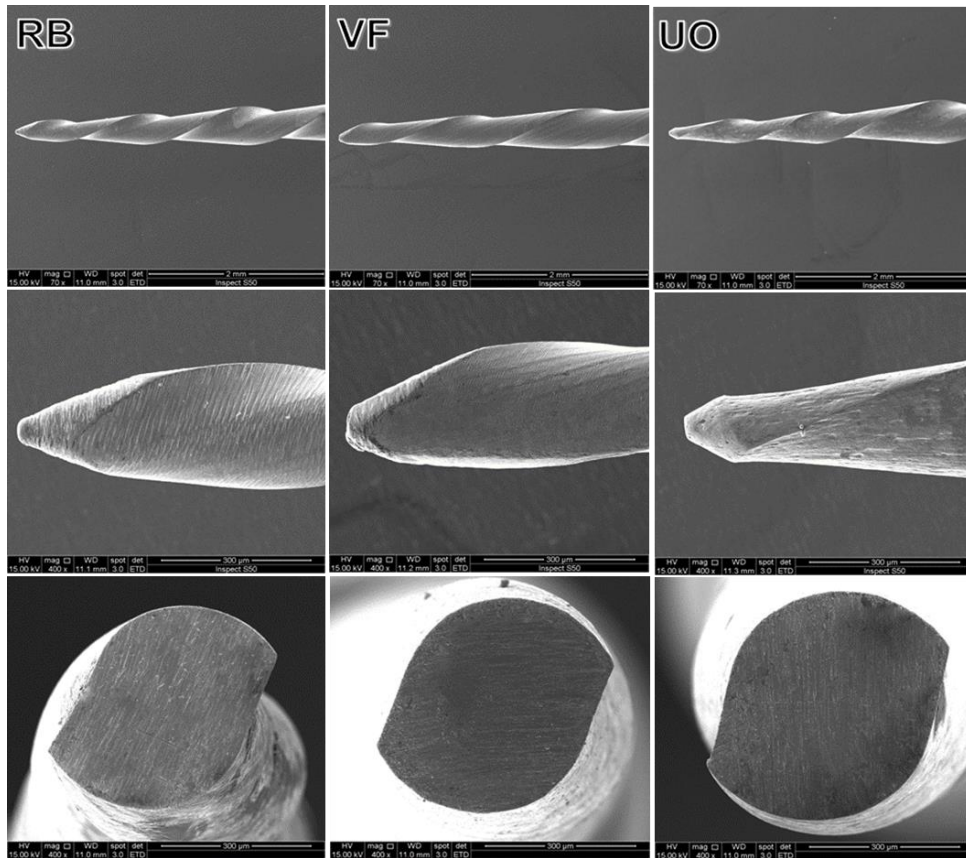
†Kruskal-Wallis for comparison between all groups with the same working length; *One-way ANOVA for comparison between all groups with the same working length; ‡Paired T test for initial and final comparison within groups with the same working length



Apêndice Y – Figura 2 do artigo



Apêndice Z – Figura 3 do artigo



ANEXO A – Parecer consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Análise das características geométricas, flexibilidade, e transporte apical de instrumentos de NiTi Reciproc Blue e dois instrumentos réplicas

Pesquisador: ANA CECILIA DINIZ VIANA

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 70687822.0.0000.5149

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.285.730

Apresentação do Projeto:

Estudo in vitro que se propõe a avaliar réplicas de limas endodônticas reciprocantes (sistemas NiTi TDK V-File e UnivyOne) em relação ao sistema original (Reciproc Blue R25), por meio da instrumentação endodôntica de dentes extraídos e posterior avaliação das alterações morfológicas do forame apical, e da ampliação e centralização do preparo apical.

Os dentes a serem utilizados serão cedidos pelo Biobanco de Dentes Humanos da Faculdade de Odontologia da UFMG. Serão incluídos dentes com canais radiculares mesiais preservados, forames de saída independentes e raios de curvatura semelhantes. Serão excluídos dentes com raízes supranumerárias, fusionadas, com rizogênese incompleta, que tenham sido submetidos a tratamento endodôntico anterior, com presença de reabsorções ou fraturas radiculares.

Para a análise das características geométricas das limas, todos os instrumentos serão inspecionados em uma lupa estereoscópica, com aumentos entre 6x e 20x. Alguns instrumentos serão selecionados para serem analisados também por microscopia eletrônica de varredura. Cinco instrumentos de cada sistema serão fotografados com uma câmera de alta resolução e seu diâmetro real e comprimento total mensurados, com auxílio do software Image J. Serão feitos ensaios de dobramento a 45° dos instrumentos utilizando uma máquina de testes.

Para análise de alterações morfológicas do forame apical, serão selecionados 60 molares extraídos e conservados em timol. Os dentes serão separados aleatoriamente em 6 grupos (10 dentes em

Endereço: Av. Presidente Antonio Carlos, 6627 2º. Andar Sala 2005 Campus Pampulha
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br