



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

FELIPE CAVALCANTI SAMPAIO

**Análise dimensional da aresta lateral de corte e núcleo
de instrumentos reciprocantes antes e após o preparo
do canal radicular**

**Goiânia
2016**

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E

DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor:	Felipe Cavalcanti Sampaio				
E-mail:	felipecavalcantisampaio@yahoo.com				
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não		
Vínculo empregatício do autor					
Agência de fomento:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior			Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:	DF	CNPJ:	00889834/0001-08
Título:	Análise dimensional da aresta lateral de corte e do núcleo de instrumentos recíprocos antes e após o preparo do canal radicular				
Palavras-chave:					
Título em outra língua:	Dimensional analysis of reciprocating instruments flute and shank before and after root canal shaping				
Palavras-chave em outra língua:					
Área de concentração:	Patologia, Clínica e Tratamento das Doenças Humanas				
Data defesa: (02/05/2016)					
Programa de Pós-Graduação:	Ciências da Saúde				
Orientador:	Prof. Dr. Carlos Estrela				
E-mail:	estrela3@terra.com.br				
Co-orientador:*	Prof. Dr. Daniel Decurcio				
E-mail:	danieldecurcio@gmail.com				

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Felipe Cavalcanti Sampaio

Assinatura do (a) autor (a)

Data: 02 / 05 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

FELIPE CAVALCANTI SAMPAIO

Análise dimensional da aresta lateral de corte e do núcleo de instrumentos reciprocantes antes e após o preparo de canais radiculares

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Doutor em Ciências da Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estrela

Co-orientador: Prof. Dr. Daniel de A. Decurcio

**Goiânia
2016**

Ficha catalográfica

BANCA EXAMINADORA DE TESE DE DOUTORADO

Aluno: Felipe Cavalcanti Sampaio

Orientador: Prof. Dr. Carlos Estrela

Co-orientador: Prof. Dr. Daniel de Almeida Decurcio

Membros:

1. Prof.^a Dr.^a Ana Helena Gonçalves de Alencar

2. Prof. Dr. Carlos Estrela

3. Prof. Dr. Daniel de Almeida Decurcio

4. Prof.^a Dr.^a Heloísa Helena Pinho Veloso

5. Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora

Suplentes:

1. Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes

2. Prof. Dr. Julio Almeida Silva

Data: 02/05/2016

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado ao amor que sempre tive, ao amor que encontrei, e ao amor que ainda está por vir.

*Na vida não importa o que você esteja fazendo,
faça sempre o seu melhor.*

(Ayrton Senna)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado muito mais do que almejei até aqui e me permitir almejar ainda mais.

Ao meu filho Mateus, imensamente amado e que me dá forças para buscar o meu melhor.

À minha esposa, Ana Paula, a quem amo e que sempre me apoiou, mesmo diante das situações adversas que já passamos.

Aos meus pais, Geraldo e Fátima, que me amam incondicionalmente e me proporcionaram ser a pessoa que hoje sou.

Aos meus irmãos, Alan, Alex e Fagner, com os quais mantenho laços eternos familiares e de amizade.

Aos meus sobrinhos, fonte de alegria infindável e nos quais vejo um futuro grandioso pela frente.

À minha eterna mentora, Prof.^a Heloísa, que me proporcionou oportunidades que mudaram minha vida profissional e pessoal.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Estrela, exemplo como profissional e pessoa e que tenho como um amigo e que me ensinou muito mais que Endodontia.

Aos meus professores, em especial à Prof.^a Ana Helena, que com tanto esforço mostraram o melhor caminho a seguir.

Aos meus amigos, em especial Ana Paula, Larissa, Mariana, Marcel, Orlando, Daniel, Heloísa, Hianne, Mayara, Denise e Wagner, sempre presentes nos momentos de dificuldades.

Ao programa de pós-graduação em Ciências da Saúde, pela oportunidade de me aperfeiçoar como profissional, pesquisador e docente.

À CAPES, pelo fundamental auxílio financeiro durante a realização do mestrado e do doutorado.

A todos que contribuíram para a minha formação, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

TABELAS, FIGURAS, QUADROS E ANEXOS	viii
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	x
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Seleção da amostra	18
3.2 Obtenção das imagens antes do preparo do canal radicular	18
3.3 Preparo do canal radicular.....	18
3.4 Obtenção das imagens depois do preparo do canal radicular	19
3.5 Análise das imagens de microscopia eletrônica de varredura	19
3.6 Análise estatística	21
4 RESULTADOS	24
5 DISCUSSÃO	46
6 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS.....	52
ARTIGO.....	56

TABELAS, FIGURAS, QUADROS E ANEXOS

Figura 1	Limites da mensuração da área da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estudada ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.	22
Figura 2	Limites da mensuração da área do núcleo. Os pontos amarelos mostram as delimitações laterais para a mensuração do núcleo, determinado pelo mesmo ponto de encontro utilizado para a mensuração da aresta lateral de corte. Foi mensurado o núcleo presente desde a ponta do instrumento até 4mm distante da mesma, a qual era a área estudada.	22
Figura 3	Limites da mensuração do comprimento da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estudada ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.	23
Figura 4	Limites para mensurações dos diâmetros transversais, os quais foram medidos a cada 0,5mm (500 μ m) a partir da ponta do instrumento. Foi utilizada como referência régua confeccionada a partir da escala da imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura, delimitando a região a ser analisada e os pontos a serem mensurados os diâmetros.	23
Tabela 1	Dimensões (μ m) dos instrumentos Reciproc® R25.	26
Figura 5	Delimitação da área do núcleo do instrumento Reciproc® R25, antes (5A) e depois (5B) do preparo do canal radicular simulado.	27
Tabela 2	Dimensões (μ m) dos instrumentos Reciproc® R40.	28
Figura 6	Delimitação da área da primeira aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R40, antes (6A) e depois (6B) do preparo do canal radicular simulado.	29
Tabela 3	Dimensões (μ m) dos instrumentos Reciproc® R50.	30

Figura 7	Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R50, antes (7A) e depois (7B) do preparo do canal radicular simulado.	31
Tabela 4	Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.20.	32
Figura 8	Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicone® n.20, antes (8A) e depois (8B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.	33
Tabela 5	Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.25.	34
Figura 9	Delimitação da área do núcleo do instrumento Unicone® n.25, antes (9A) e depois (9B) do preparo do canal radicular simulado.	35
Tabela 6	Dimensões (µm) dos instrumentos Unicone® n.40.	36
Figura 10	Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicone® n.40, antes (10A) e depois (10B) do preparo do canal radicular simulado. Na imagem 10B foi possível a mensuração da aresta lateral de corte mais próxima à ponta devido à deformação plástica do instrumento após o preparo.	37
Tabela 7	Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® <i>Small</i> .	38
Figura 11	Mensuração do diâmetro transversal a cada 0,5mm a partir da ponta do instrumento WaveOne® <i>Small</i> , antes (11A) e depois (11B) do preparo do canal radicular simulado.	39
Tabela 8	Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® <i>Primary</i> .	40
Figura 12	Delimitação das áreas das arestas laterais de corte do instrumento WaveOne® <i>Primary</i> , antes (12A) e depois (12B) do preparo do canal radicular simulado.	41
Tabela 9	Dimensões (µm) dos instrumentos WaveOne® <i>Large</i> .	42
Figura 13	Delimitação da área da aresta lateral de corte do instrumento WaveOne® <i>Large</i> , antes (13A) e depois (13B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.	43
Tabela 10	Comparação entre os instrumentos Reciproc® R25, Unicone® n. 25 e WaveOne® <i>Primary</i> , antes e após o uso.	44
Tabela 11	Comparação entre os instrumentos Reciproc® R40, Unicone® n. 40 e WaveOne® <i>Large</i> , antes e após o uso.	45
Anexo	Artigo	57

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de variâncias
cm	Centímetro
LabMic	Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução
®	Marca registrada
µm	Micrômetro
µm ²	Micrômetro quadrado
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NiTi	Níquel-titânio
n.	Número
%	Porcentagem
P	p-valor
kV	Quilovolt
UFG	Universidade Federal de Goiás
X	Vezes

RESUMO

Objetivo: O objetivo do presente estudo foi analisar a influência das dimensões da aresta lateral de corte e do núcleo do instrumento na formação de deformações plásticas e alterações dimensionais nos instrumentos reciprocantes. **Material e métodos:** Foram utilizados instrumentos endodônticos de rotação recíproca Reciproc® R25, R40 e R50, WaveOne® *Small*, *Primary* e *Large* e Unicone® n.20, n.25 e n.40. Foram obtidas imagens por microscopia eletrônica de varredura de 4mm a partir da ponta do instrumento (aumento de 30X) antes e após o preparo de canais simulados curvos, e os instrumentos utilizados uma única vez. As imagens foram transferidas para o *software* AxioVision® para realização das mensurações dos instrumentos: área da aresta lateral de corte (μm^2); área do núcleo (μm^2); diâmetro transversal do instrumento a cada 0,5mm (μm); e comprimento da aresta lateral de corte (μm). A diferença entre os valores antes e após o uso dos instrumentos foi comparada pelo teste t de *Student* pareado. Os instrumentos foram classificados pela presença de deformações plásticas após o preparo dos canais radiculares. **Resultados:** Os instrumentos Reciproc® apresentaram as maiores arestas e os menores núcleos. Os Reciproc® R40 apresentaram diferença significativa apenas para a mensuração do diâmetro transversal a 0,5mm da ponta do instrumento ($P < 0,05$). Nenhum instrumento Reciproc® apresentou deformação plástica perceptível. Os instrumentos Unicone® apresentaram diferenças estatísticas significantes ($P < 0,05$) na largura dos instrumentos n.20, a 1,5 e 3,0mm da ponta, e no comprimento das arestas 2 e 3, e na área do núcleo dos instrumentos n.25. Foi também verificado visualmente a presença de deformações plásticas em um instrumento n.20 e nos três instrumentos n.40. Os instrumentos WaveOne® mostraram diferenças significativas para o comprimento da aresta 1 e 4 do WaveOne® *Primary*, e diâmetro transversal a 2mm da ponta do instrumento no WaveOne® *Large*. Foram verificadas deformações plásticas em dois dos três instrumentos *Large*. **Conclusões:** Os instrumentos Reciproc® apresentam as maiores arestas laterais de corte em área e comprimento e os menores núcleos, quando comparados aos instrumentos Unicone® e WaveOne® de tamanho similar. A relação aresta lateral de corte/núcleo foi maior nos instrumentos Reciproc®, e menor nos instrumentos WaveOne®. Os instrumentos Unicone® apresentaram a maior quantidade de deformações plásticas.

Palavras-chave: Deformações plásticas, aresta lateral de corte, instrumentos reciprocantes.

ABSTRACT

Purpose: The purpose of the present study was to analyze the influence of instrument's flute and shank dimensions on formation of plastic deformations and dimensional changes of reciprocating instruments. **Material and Methods:** The reciprocating endodontic instruments used were Reciproc[®] R25, R40 and R50, WaveOne[®] Small, Primary and Large, Unicone[®] n.20, n.25 and n.40. Scanning electron microscopy images were obtained of 4mm from the instrument's tip (30X magnification) before and after shaping of simulated curved root canals, and the instruments were used only once. The images were transferred to software AxioVision[®] to measure the instruments: flute area (μm^2), shank area (μm^2), flute longitudinal length (μm), instrument transversal diameter (μm). The difference of data before and after root canal shaping was compared by Students' T test for paired samples. The instruments were classified for the plastic deformations presence after root canal shaping. **Results:** Reciproc[®] instruments showed larger flutes and smaller shanks. The Reciproc[®] R40 showed significant difference for transversal diameter at 0.5mm from the tip. Reciproc[®] had not plastic deformations. Unicone[®] instruments showed significant differences on n.20 instruments for transversal diameter at 1.5 and 3.0mm from the tip, and instrument n.25 had difference at 1.5 and 3.0mm and second and third flute longitudinal length. Plastic deformations were visualized on one instrument n.20m and on three n.40. WaveOne[®] instruments showed significant differences for first and fourth flutes length of WaveOne[®] Primary, and transversal diameter at 2.0mm from the tip of WaveOne[®] Large. Plastic deformations were present in two of three Large instruments. **Conclusions:** Reciproc[®] instruments had greater area and length of flutes and smaller shanks compared to Unicone[®] and WaveOne[®] of similar sizes. Reciproc[®] showed greater flute to shank ratio. WaveOne[®] had the lowest flute to shank ratio. Unicone[®] instruments showed more plastic deformations.

Keywords: Plastic deformations, flute, reciprocating instruments.

1 INTRODUÇÃO

O processo de sanificação dos canais radiculares, indiferente à condição do tecido pulpar, é caracterizado pela limpeza, controle microbiano e modelagem (SCHILDER, 1974). O esvaziamento e preparo do canal radicular envolvem estratégias de irrigação acrescidas ao comportamento mecânico dos instrumentos endodônticos. Assim, o correto preparo do canal radicular representa um referencial necessário para um adequado selamento endodôntico e coronário (ESTRELA *et al.*, 2014).

A modelagem do sistema de canais radiculares durante a etapa de preparo representa um desafio ao endodontista, estando diretamente associada ao instrumento utilizado. A instrumentação de canais radiculares curvos com instrumento não flexível é complexa e incorpora dificuldades quanto à manutenção da forma original e a posição do forame apical, especialmente durante a ampliação a diâmetros adequados à anatomia do canal radicular (LOPES *et al.*, 1998; LIU *et al.*, 2006).

A necessidade de criar um instrumento com maior flexibilidade levou ao estudo da liga de níquel-titânio, desenvolvendo instrumentos que demonstraram uma flexibilidade muito superior aos instrumentos confeccionados em aço inoxidável (WALIA *et al.*, 1988). O avanço destes instrumentos, o modo de fabricação e características de seu emprego permitiu um preparo do canal radicular com rotação contínua de forma mais segura (PETERS *et al.*, 2004). No entanto, deformações plásticas podem ocorrer no instrumento durante o preparo dos canais radiculares e até ser responsável pela fratura do mesmo, o que constitui um dos principais problemas que podem ocorrer durante o preparo (WANG *et al.*, 2014).

Em busca de melhorias do instrumento rotatório de níquel-titânio, foram confeccionados e introduzidos no mercado instrumentos com diferentes estruturas morfológicas, secções transversais (HAAPASALO & SHEN, 2013), tratamentos de superfície (LOPES *et al.*, 2010), e tratamentos térmicos (SHEN *et al.*, 2013).

O movimento recíprocante foi introduzido recentemente para uso associado a instrumentos endodônticos de níquel-titânio (YARED, 2008). Desde a década de 1960 foi introduzido um equipamento capaz de realizar este movimento, visando a instrumentação de canais radiculares. O motor realizava o movimento de um quarto de volta no sentido horário, e em seguida, o mesmo movimento no sentido anti-horário (FRANK, 1967). Entretanto, não era grande o benefício deste movimento com o uso de instrumentos de aço inoxidável disponíveis na época em relação à instrumentação manual (SPYROPOULOS *et al.*, 1987). Assim, a característica do movimento já havia sido descrita.

Esta cinemática recíprocante utilizada com instrumentos de níquel-titânio é realizada a partir de um movimento rotacional em sentido horário e, antes de completar o giro completo, realiza-se outro movimento rotacional em sentido reverso e mais curto. Esta cinemática proporciona um avanço em busca da redução da fratura do instrumento de níquel-titânio (YARED, 2008; LOPES *et al.*, 2013). Estudos comparativos mostraram que a rotação recíproca aumenta a resistência à fadiga cíclica, assim como evita que a ponta do instrumento fique presa nas paredes do canal radicular, o que evitaria a fratura por torção (DE-DEUS *et al.*, 2010; WAN *et al.*, 2011; GAVINI *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2013; JIN *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2013; PEDULLA *et al.*, 2013; KIEFNER *et al.*, 2014; SHIN *et al.*, 2014).

Apesar das vantagens, foi observada a ocorrência de fraturas em instrumentos desenvolvidos para rotação recíproca. Estudo clínico com 1696 instrumentos Reciproc® utilizados clinicamente encontraram índice de fratura de 0,47% dos instrumentos R25 utilizados uma única vez; 0,35% apresentaram deformações plásticas (PLOTINO *et al.*, 2014). Outro estudo clínico em que foi avaliado o índice de fraturas em instrumentos WaveOne® utilizados clinicamente uma única vez, do total de 2215 instrumentos canais radiculares instrumentados, três instrumentos fraturaram na região apical da raiz (CUNHA *et al.*, 2014). Outros estudos comparando os instrumentos Reciproc® e WaveOne® encontraram resultados similares em termos de resistência à fratura (KIM *et al.*, 2012; PLOTINO *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2014).

O comportamento mecânico dos instrumentos durante o preparo dos canais radiculares pode trazer repercussões ao dente, influenciando no prognóstico do tratamento endodôntico. Vários estudos têm destacado microfraturas desenvolvidas posterior ao preparo do canal radicular com instrumentos recíprocos (BURKLEIN *et al.*, 2013; ARIAS *et al.*, 2014; JAMLEH *et al.*, 2015; KARATAS *et al.*, 2015).

Burklein *et al.* (2013) avaliaram a incidência de fraturas dentinárias em 100 incisivos centrais inferiores após o preparo do canal radicular com instrumentos rotatórios (Mtwo® e ProTaper®) e recíprocos (Reciproc® e WaveOne®), verificadas pós seção transversal da raiz a 3mm, 6mm e 9mm. Tanto os instrumentos recíprocos como os rotatórios produziram microfraturas da superfície dentinária, mas no terço apical os instrumentos recíprocos produziram maior quantidade de microfraturas ($P < 0,05$).

Arias *et al.* (2014) avaliaram a indução de microfraturas de dois tipos de instrumentos (manuais e recíprocos) após a instrumentação de incisivos

inferiores. Neste estudo piloto foram utilizados os instrumentos endodônticos GT Profile® e WaveOne®. Verificou-se que as microfraturas ocorreram mais após preparo com instrumentos reciprocantes a 3mm do ápice, de forma igual a 6mm e 9mm em comparação ao preparo com instrumentos manuais.

Uma das características dos instrumentos endodônticos que pode influenciar na sua resistência e seu comportamento mecânico é a característica morfológica do desenho da sua parte ativa (HÜLSMANN *et al.*, 2005; CHEUNG, 2009; MCGUIGAN *et al.*, 2013). Biz & Figueiredo (2004) avaliaram a relação entre a dimensão da aresta de corte e do núcleo na região da primeira, terceira e quinta arestas de corte dos instrumentos ProFile .04, ProFile .06, Pow R .02, Pow R .04 e Quantec 2000. A relação entre as arestas e o núcleo mostrou-se proporcional em todos os instrumentos avaliados. Foi observado também que o instrumento Quantec 2000 apresentava aresta de corte de maior área em relação aos demais, o que poderia ser responsável por um reforço na estrutura deste instrumento.

Uma vez que os instrumentos disponíveis no mercado apresentam aresta lateral de corte e núcleo de diferentes desenhos e dimensões, é oportuno avaliar a relação destes parâmetros com a ocorrência de deformações nos novos instrumentos endodônticos reciprocantes disponíveis no mercado.

O objetivo do presente estudo foi analisar a influência das dimensões da aresta lateral de corte e do núcleo dos primeiros 4mm do instrumento na formação de deformações plásticas e alterações dimensionais nos instrumentos reciprocantes após o preparo do canal radicular.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a influência das dimensões da aresta lateral de corte e do núcleo do instrumento na formação de deformações plásticas e alterações dimensionais nos instrumentos reciprocantes.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a área das arestas laterais de corte e do núcleo, a espessura do instrumento e o comprimento das arestas laterais de corte de instrumentos de níquel-titânio de rotação recíproca Reciproc[®], WaveOne[®] e Unicone[®];
- Verificar a deformação plástica por microscopia eletrônica de varredura dos instrumentos reciprocantes;
- Analisar a relação entre as dimensões da aresta lateral de corte e do núcleo dos instrumentos reciprocantes e a ocorrência de deformações plásticas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção da amostra

A análise dimensional da aresta lateral de corte e do núcleo foi realizada em instrumentos reciprocantes de diferentes conicidades e procedências: Reciproc[®] R25 - n.25/.08, R40 - n.40/.06, e R50 - n.50/.05 (VDW, Munique, Alemanha); Unicone[®] n.20/.06, n.25/.06, n.40/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca); WaveOne[®] *Small* - n.21/.06, *Primary* - n.25/.08, *Large* - n.40/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Foram utilizados três instrumentos de cada (n=27).

3.2 Obtenção das imagens antes do preparo do canal radicular

As amostras (instrumentos reciprocantes sem uso) foram fixadas em *stubs* (porta amostra de alumínio) de 5,5 cm de diâmetro. As imagens das superfícies de cada instrumento foram obtidas por meio de microscopia eletrônica de varredura (Jeol, JSM – 6610, Toquio, Japão). As imagens foram adquiridas (30X de aumento e tensão de 7kV) dos 4 primeiros milímetros a partir da ponta do instrumento em duas posições: A - face plana (côncava) da haste de fixação; e B - face convexa da haste de fixação (LabMic, UFG).

3.3 Preparo do canal radicular

Os instrumentos foram limpos em água corrente, e depois levados à cuba ultrassônica (Cristófoli, Campo Mourão – PR, Brasil) por 3 minutos, e secos com auxílio de gaze limpa e esterilizada.

Vinte e sete canais simulados curvos (IM do Brasil Ltda., São Paulo – SP, Brasil) padronizados (0,18mm no limite apical e 15mm de comprimento)

foram utilizados para o preparo dos canais radiculares. Os canais radiculares simulados foram irrigados com 5mL de solução de hipoclorito de sódio a 2,5% (Fórmula Mais, Palmas – TO, Brasil) durante o preparo. Os canais radiculares foram preparados com instrumento único, e uso de motor elétrico X-Smart Plus® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com programa “Reciproc” para os instrumentos Reciproc®, e programa “WaveOne” para os instrumentos WaveOne® e Unicone®. O programa “WaveOne” foi selecionado para o instrumento Unicone® por apresentar numerações de instrumentos mais próximas ao sistema WaveOne®, e não existir programa específico para este tipo de instrumento no motor X-Smart Plus®. Após os preparos dos canais radiculares, os instrumentos foram novamente limpos de acordo com a metodologia descrita antes do preparo.

3.4 Obtenção das imagens depois do preparo do canal radicular

As amostras foram novamente fixadas em *stubs* e encaminhadas para obtenção de imagens por microscopia eletrônica de varredura a partir da ponta do instrumento com aumento de 30X e tensão de 7kV (LabMic, UFG), de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

3.5 Análise das imagens de microscopia eletrônica de varredura

As imagens de microscopia eletrônica de varredura foram transferidas para o *software* AxioVision® (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Alemanha) para realização das análises dimensionais dos instrumentos.

Os instrumentos foram analisados pela presença de deformações plásticas – alterações de forma da parte ativa do instrumento, caracterizada

pela deformação das espiras do instrumento (LOPES *et al.*, 2011) – após o uso dos mesmos em comparação à sua imagem antes do uso.

A análise dimensional foi iniciada pela delimitação a área das arestas laterais de corte. Para sua mensuração, foi traçada sua delimitação externa, usando como limites longitudinais os pontos de encontro entre a aresta lateral de corte a ser mensurada e os canais helicoidais superior e inferior à referida aresta (Figura 1). Foram mensuradas as arestas laterais de corte do lado superior da imagem, como forma de padronização, e presentes de forma completa nos quatro primeiros milímetros do instrumento a partir da ponta, em micrômetros quadrados (μm^2).

Foi mensurada a área do núcleo dos quatro primeiros milímetros do instrumento a partir da ponta. Para a delimitação lateral do núcleo foram utilizados os mesmos pontos utilizados para delimitação das áreas das arestas laterais de corte como limites laterais. O limite inferior foi a ponta do instrumento e o limite superior foi o ponto em que se atingia 4mm a partir da ponta (Figura 2).

Além destas medidas, foi verificado o comprimento da aresta lateral de corte, delimitado pelos pontos de encontro entre a aresta lateral de corte e os canais helicoidais superior e inferior à aresta (Figura 3). A mensuração foi realizada em micrômetros (μm).

Em seguida, foram realizadas mensurações do diâmetro do instrumento a 0,5mm, 1mm, 1,5mm, 2mm, 2,5mm, 3mm, 3,5mm e 4mm da ponta do instrumento, em micrômetros (μm) (Figura 4).

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos pela análise de deformações plásticas presentes na superfície do instrumento foram analisados descritivamente por meio de tabela de frequência de instrumentos que apresentavam deformações plásticas (não foram verificados a quantidade de deformações e características das deformações plásticas, apenas quantos instrumentos de cada apresentavam deformações plásticas após o uso).

Após a obtenção dos dados das mensurações, foi realizada a comparação antes e após o preparo dos canais radiculares por meio de análise pareada. Para esta análise, foi utilizado o teste T de *Student* para amostras pareadas.

Os instrumentos de número n.25 (Reciproc R25, Unicone n.25 e WaveOne Primary) e n.40 (Reciproc R40, Unicone n.40 e WaveOne Large) foram comparados entre os sistemas por meio da Análise de Variâncias (ANOVA) e Teste de Tukey.

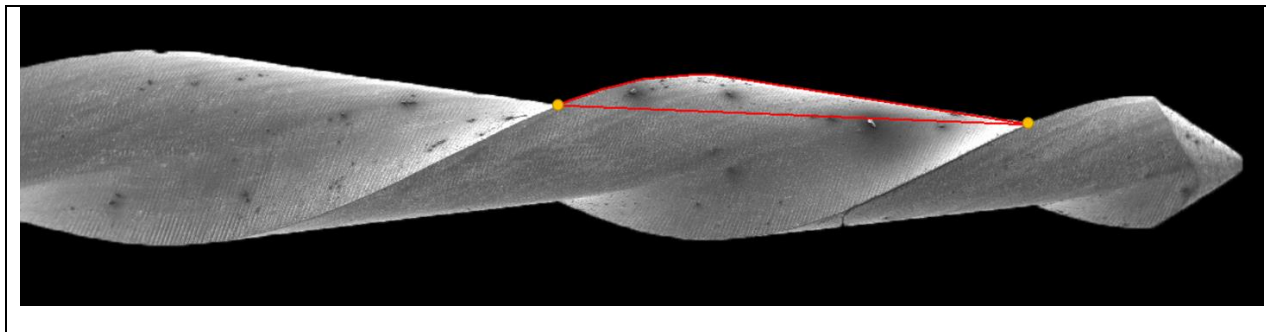


Figura 1. Limites da mensuração da área da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estudada ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.

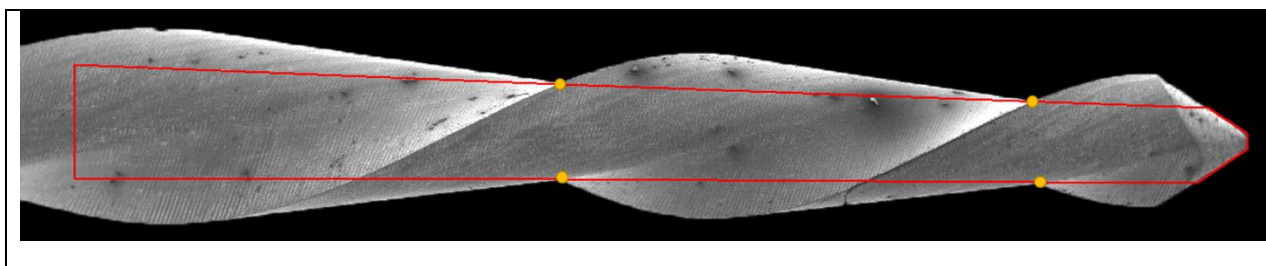


Figura 2. Limites da mensuração da área do núcleo. Os pontos amarelos mostram as delimitações laterais para a mensuração do núcleo, determinado pelo mesmo ponto de encontro utilizado para a mensuração da aresta lateral de corte. Foi mensurado o núcleo presente desde a ponta do instrumento até 4mm distante da mesma, a qual era a área estudada.

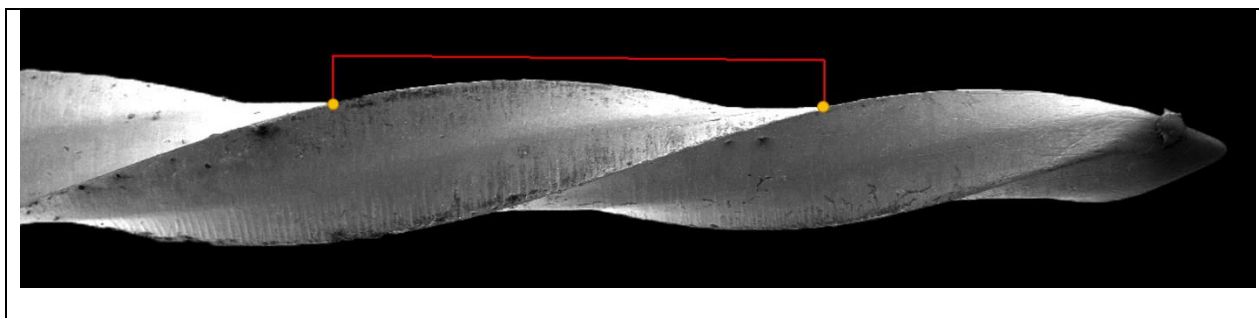


Figura 3. Limites da mensuração do comprimento da aresta lateral de corte. Os pontos amarelos mostram a delimitação superior (mais distante da ponta) e inferior (mais próximo da ponta) da aresta lateral de corte, representada pelo ponto de encontro entre a aresta lateral de corte mensurada e o canal helicoidal. Na imagem, apenas uma aresta lateral de corte foi mensurada devido à região estudada ser 4mm a partir da ponta do instrumento, e a aresta lateral de corte seguinte não estar completamente presente dentro deste limite. A aresta lateral de corte que se encontra com a ponta era descartada, por não apresentar o ponto de delimitação inferior da aresta.

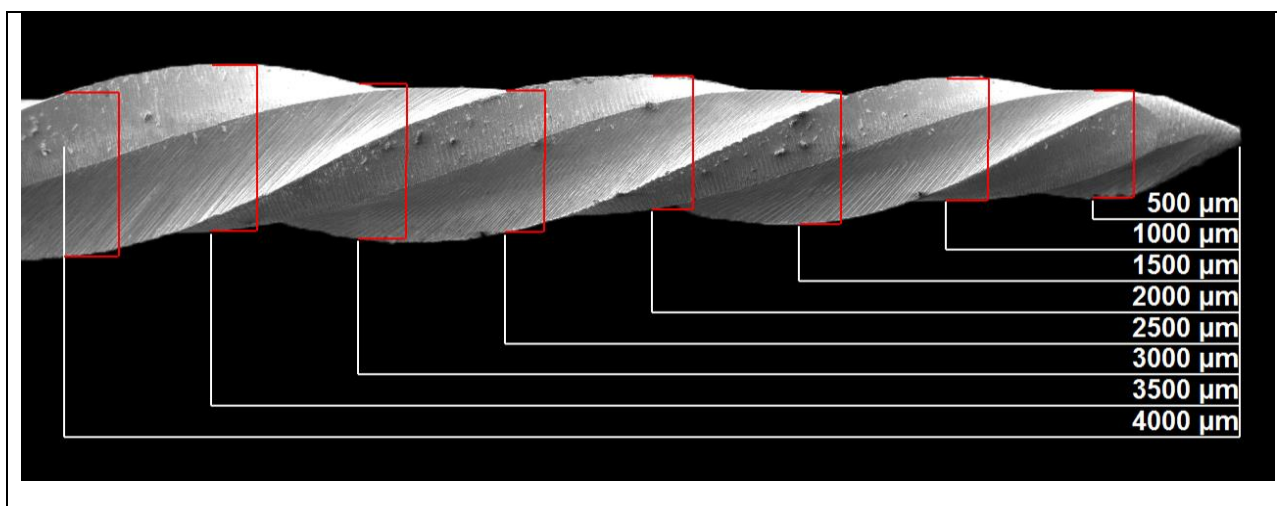


Figura 4. Limites para mensurações dos diâmetros transversais, os quais foram medidos a cada 0,5mm (500µm) a partir da ponta do instrumento. Foi utilizada como referência régua confeccionada a partir da escala da imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura, delimitando a região a ser analisada e os pontos a serem mensurados os diâmetros.

4 RESULTADOS

Deformações plásticas nas espiras dos instrumentos endodônticos analisadas a partir de imagens de microscopia eletrônica de varredura foram verificadas em 1 instrumento endodôntico Unicone® n.20, 3 instrumentos Unicone® n.40 e 2 instrumentos WaveOne® *Large*.

Nas mensurações foram identificadas alterações estruturais após o preparo dos canais radiculares. Os instrumentos Reciproc® apresentaram as maiores arestas e os menores núcleos. Os instrumentos Reciproc® R25 não apresentaram diferenças significativas quando comparados antes e após o uso em canais simulados curvos ($P>0,05$; Tabela 1). Os instrumentos Reciproc® R40 apresentaram diferenças significativas apenas para a mensuração do diâmetro transversal a 0,5mm da ponta do instrumento ($P<0,05$; Tabela 2). Os instrumentos Reciproc® R50 não mostraram diferenças significantes entre suas dimensões antes e após o uso em canais simulados ($P>0,05$; Tabela 3).

Os instrumentos Unicone® apresentaram diferenças significantes ($P<0,05$) no diâmetro transversal dos instrumentos Unicone® n.20, a 1,5 e 3,0mm da ponta, e no comprimento das arestas 2 e 3 (Tabela 4). Diferença significativa foi encontrada na área do núcleo dos instrumentos Unicone® n.25 (Tabela 5). Os instrumentos Unicone® n.40 não apresentaram diferença significativa (Tabela 6).

Os instrumentos WaveOne® mostraram diferenças significativas para o comprimento da aresta 1 e 4 do instrumento WaveOne® *Primary*. O diâmetro transversal a 2mm da ponta do instrumento no WaveOne® *Large* mostrou diferença significativa após a instrumentação de canais simulados curvos. As

demais mensurações não apresentaram diferenças significativas (Tabelas 7, 8 e 9).

A comparação entre os instrumentos de número 25 (Reciproc® R25, Unicone® n.25 e WaveOne® *Primary*) não mostrou diferença significativa tanto antes como depois do uso entre todos instrumentos para o diâmetro a 1,0mm, 2,5mm e 4,0mm da ponta do instrumento. A comparação entre os instrumentos número 25 antes e depois pode ser analisada na Tabela 10.

A comparação entre os instrumentos de número 40 (Reciproc® R40, Unicone® n.40 e WaveOne® *Large*) não mostrou diferença significativa tanto antes como depois do uso entre todos instrumentos para o diâmetro a 1,5mm, 2,5mm e 4,0mm da ponta do instrumento. A comparação entre os instrumentos número 40 antes e depois pode ser analisada na Tabela 11.

As figuras 5 a 13 mostram mensurações antes e após o preparo de canais curvos simulados.

Tabela 1. Dimensões (μm) dos instrumentos Reciproc® R25.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	34871,30	34498,15	0,660
Área Aresta 2	52392,59	52155,55	0,866
Área Núcleo	976682,41	973281,48	0,555
Diâmetro 0,5	187,00	182,52	0,585
Diâmetro 1,0	299,51	294,53	0,297
Diâmetro 1,5	247,18	254,41	0,294
Diâmetro 2,0	357,28	333,66	0,867
Diâmetro 2,5	365,02	374,43	0,772
Diâmetro 3,0	365,31	364,57	0,959
Diâmetro 3,5	483,86	473,77	0,278
Diâmetro 4,0	401,23	419,02	0,597
Comprimento Aresta 1	1059,89	1048,20	0,387
Comprimento Aresta 2	1242,84	1226,44	0,335

Reciproc® R25 - n.25/.08 (VDW, Munique, Alemanha).

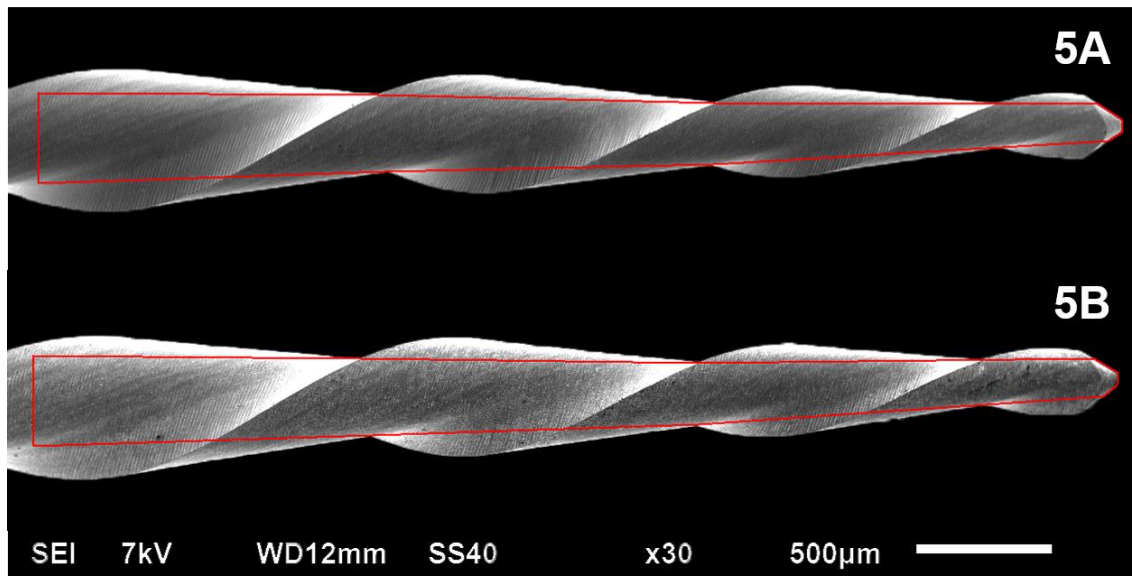


Figura 5. Delimitação da área do núcleo do instrumento Reciproc® R25, antes (5A) e depois (5B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 2. Dimensões (μm) dos instrumentos Reciproc[®] R40.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	76051,85	81265,74	0,452
Área Núcleo	1111100,00	1108128,70	0,854
Diâmetro 0,5	288,12	355,35	0,028
Diâmetro 1,0	369,05	321,80	0,144
Diâmetro 1,5	380,57	384,95	0,911
Diâmetro 2,0	395,66	443,41	0,240
Diâmetro 2,5	445,95	378,76	0,155
Diâmetro 3,0	442,44	444,16	0,973
Diâmetro 3,5	425,39	517,03	0,069
Diâmetro 4,0	516,69	502,79	0,793
Comprimento Aresta 1	1368,57	1395,60	0,577

Reciproc[®] R40 - n.40/06 (VDW, Munique, Alemanha).

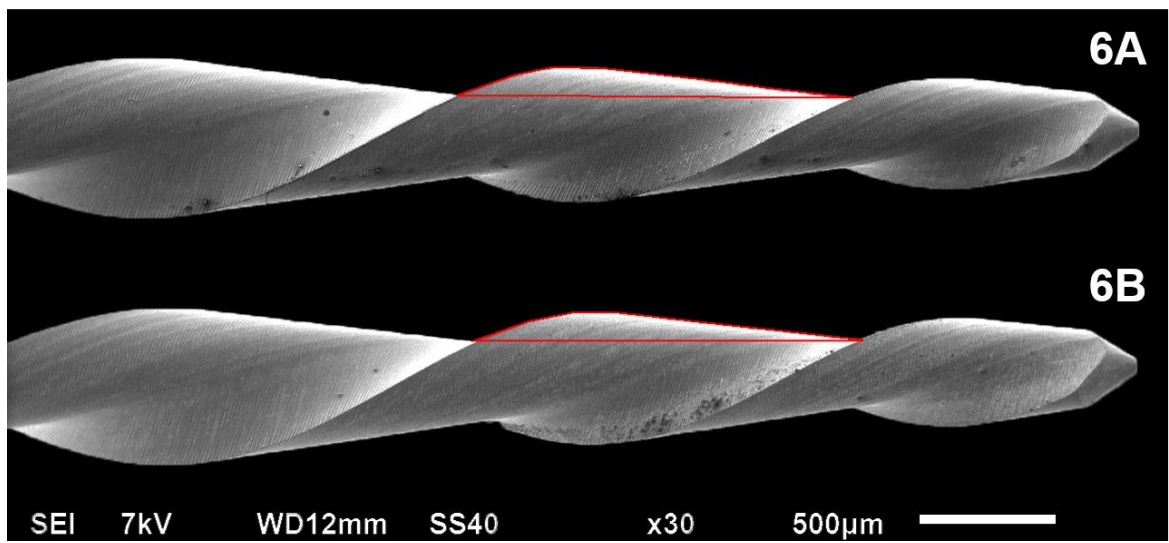


Figura 6. Delimitação da área da primeira aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R40, antes (6A) e depois (6B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 3. Dimensões (μm) dos instrumentos Reciproc[®] R50.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	124526,67	129549,07	0,382
Área Núcleo	1264668,52	1250212,96	0,429
Diâmetro 0,5	415,00	412,21	0,900
Diâmetro 1,0	417,31	377,24	0,200
Diâmetro 1,5	392,82	428,37	0,137
Diâmetro 2,0	496,18	498,41	0,925
Diâmetro 2,5	509,41	467,73	0,276
Diâmetro 3,0	442,10	482,12	0,447
Diâmetro 3,5	493,34	492,15	0,975
Diâmetro 4,0	591,13	588,88	0,951
Comprimento Aresta 1	1705,20	1720,67	0,534

Reciproc[®] R50 - n.50/.05 (VDW, Munique, Alemanha).

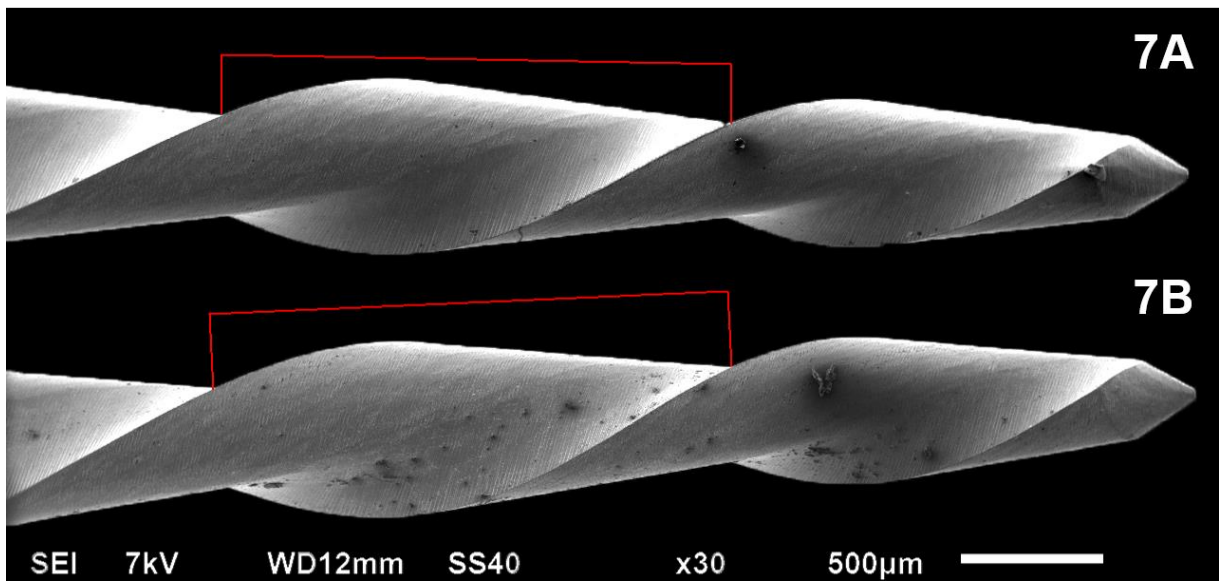


Figura 7. Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Reciproc® R50, antes (7A) e depois (7B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 4. Dimensões (μm) dos instrumentos Unicone[®] n.20.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	6550,93	6400,00	0,856
Área Aresta 2	8386,11	8897,22	0,636
Área Aresta 3	13167,68	15320,37	0,449
Área Núcleo	1091283,34	1093412,96	0,885
Diâmetro 0,5	252,18	238,28	0,599
Diâmetro 1,0	272,24	257,77	0,438
Diâmetro 1,5	290,01	280,03	0,017
Diâmetro 2,0	305,53	306,21	0,815
Diâmetro 2,5	315,08	318,98	0,442
Diâmetro 3,0	328,07	338,07	0,004
Diâmetro 3,5	353,27	351,07	0,329
Diâmetro 4,0	379,42	381,07	0,743
Comprimento Aresta 1	707,37	750,19	0,231
Comprimento Aresta 2	820,61	875,78	0,026
Comprimento Aresta 3	905,01	1031,24	0,008

Unicone[®] n.20/06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca).

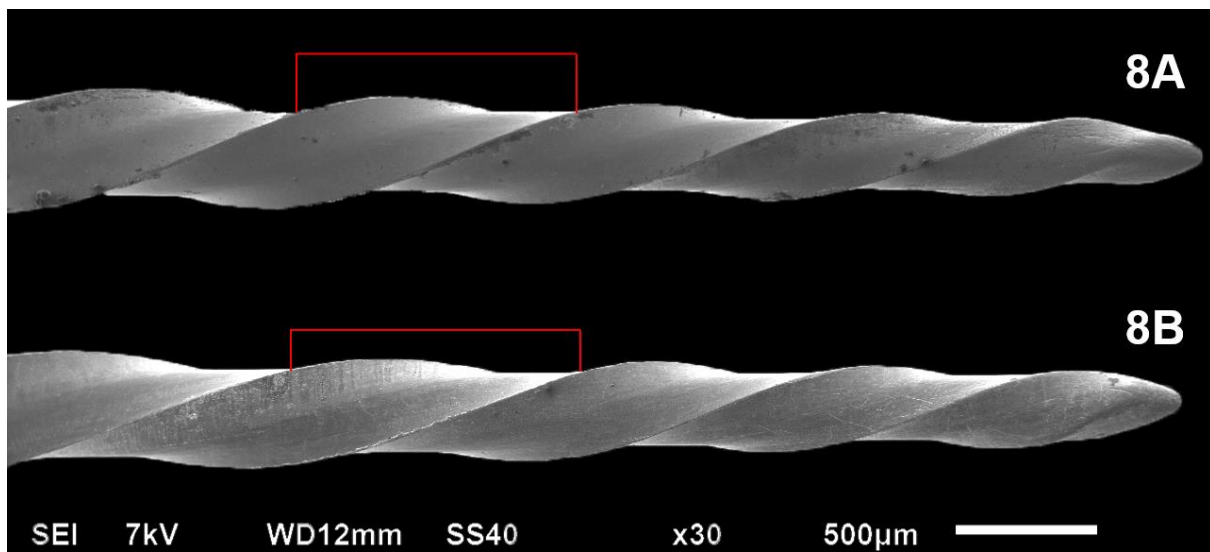


Figura 8. Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicone® n.20, antes (8A) e depois (8B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.

Tabela 5. Dimensões (μm) dos instrumentos Unicone[®] n.25.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	17780,56	19802,78	0,077
Área Aresta 2	26574,08	30200,00	0,313
Área Núcleo	1102911,11	1086040,74	0,034
Diâmetro 0,5	268,80	272,80	0,082
Diâmetro 1,0	291,76	287,32	0,327
Diâmetro 1,5	301,12	303,90	0,516
Diâmetro 2,0	320,53	319,42	0,751
Diâmetro 2,5	348,47	351,25	0,496
Diâmetro 3,0	369,19	370,85	0,460
Diâmetro 3,5	397,25	394,50	0,385
Diâmetro 4,0	423,88	425,55	0,489
Comprimento Aresta 1	938,98	925,89	0,676
Comprimento Aresta 2	1098,74	1094,84	0,927

Unicone[®] n.25/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca).

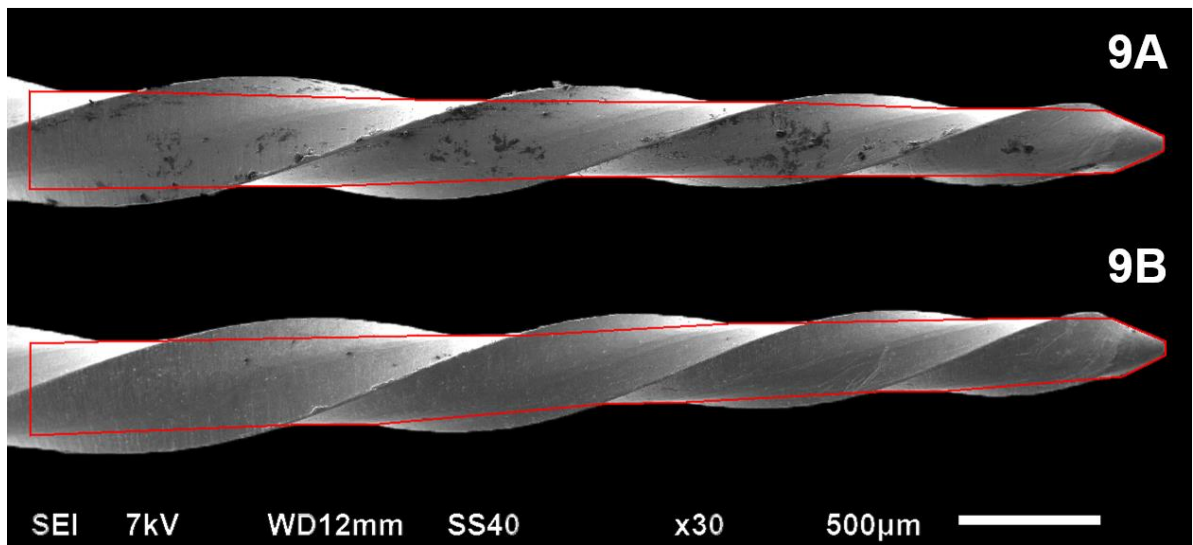


Figura 9. Delimitação da área do núcleo do instrumento Unicone® n.25, antes (9A) e depois (9B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 6. Dimensões (μm) dos instrumentos Unicone[®] n.40.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	73115,74	99125,93	0,132
Área Núcleo	1386538,89	1376334,26	0,411
Diâmetro 0,5	356,64	354,99	0,522
Diâmetro 1,0	396,14	392,83	0,538
Diâmetro 1,5	417,85	418,97	0,636
Diâmetro 2,0	450,46	439,90	0,067
Diâmetro 2,5	463,51	461,30	0,644
Diâmetro 3,0	490,51	485,74	0,603
Diâmetro 3,5	515,60	516,72	0,678
Diâmetro 4,0	541,97	523,86	0,362
Comprimento Aresta 1	1646,23	1959,14	0,123

Unicone[®] n.40/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, República Tcheca).

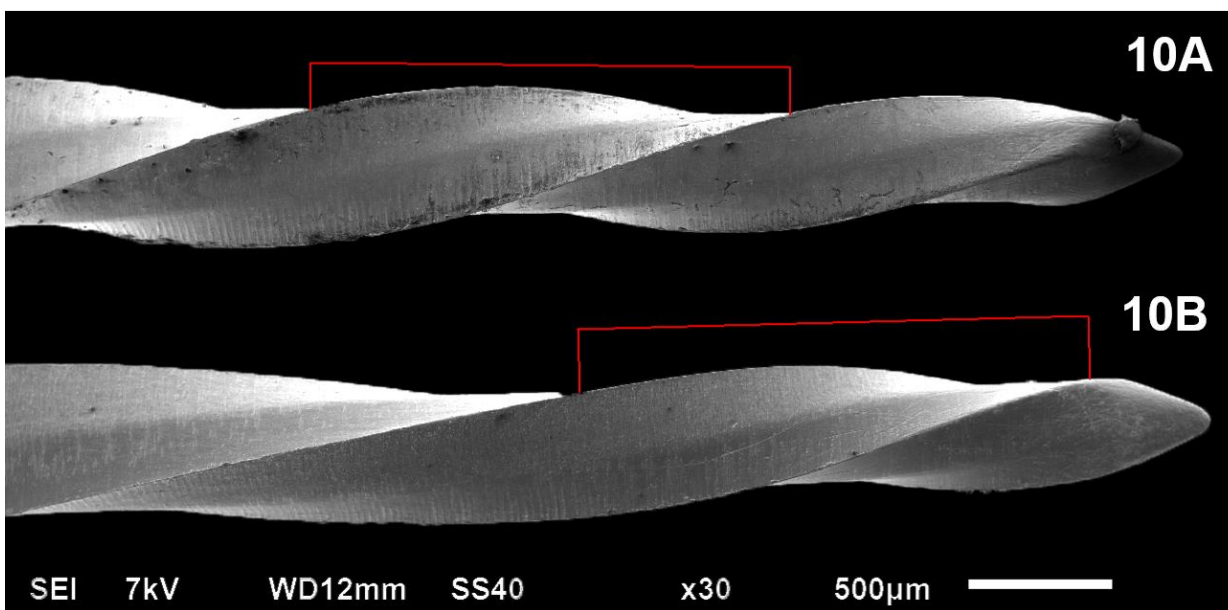


Figura 10. Mensuração do comprimento da aresta lateral de corte do instrumento Unicore® n.40, antes (10A) e depois (10B) do preparo do canal radicular simulado. Na imagem 10B foi possível a mensuração da aresta lateral de corte mais próxima à ponta devido à deformação plástica do instrumento após o preparo.

Tabela 7. Dimensões (μm) dos instrumentos WaveOne® *Small*.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	11406,48	10976,77	0,565
Área Aresta 2	14763,89	14797,22	0,951
Área Aresta 3	18650,93	19164,81	0,616
Área Aresta 4	25260,19	25415,74	0,895
Área Núcleo	921743,52	915994,45	0,425
Diâmetro 0,5	223,76	228,78	0,349
Diâmetro 1,0	245,54	239,98	0,266
Diâmetro 1,5	246,68	243,35	0,403
Diâmetro 2,0	269,75	270,32	0,790
Diâmetro 2,5	302,32	300,12	0,606
Diâmetro 3,0	328,30	324,42	0,202
Diâmetro 3,5	340,65	344,00	0,522
Diâmetro 4,0	383,28	379,93	0,312
Comprimento Aresta 1	585,02	546,78	0,003
Comprimento Aresta 2	686,44	683,05	0,742
Comprimento Aresta 3	819,21	798,88	0,063
Comprimento Aresta 4	905,17	881,96	0,034

WaveOne® *Small* - n.20/.06 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)

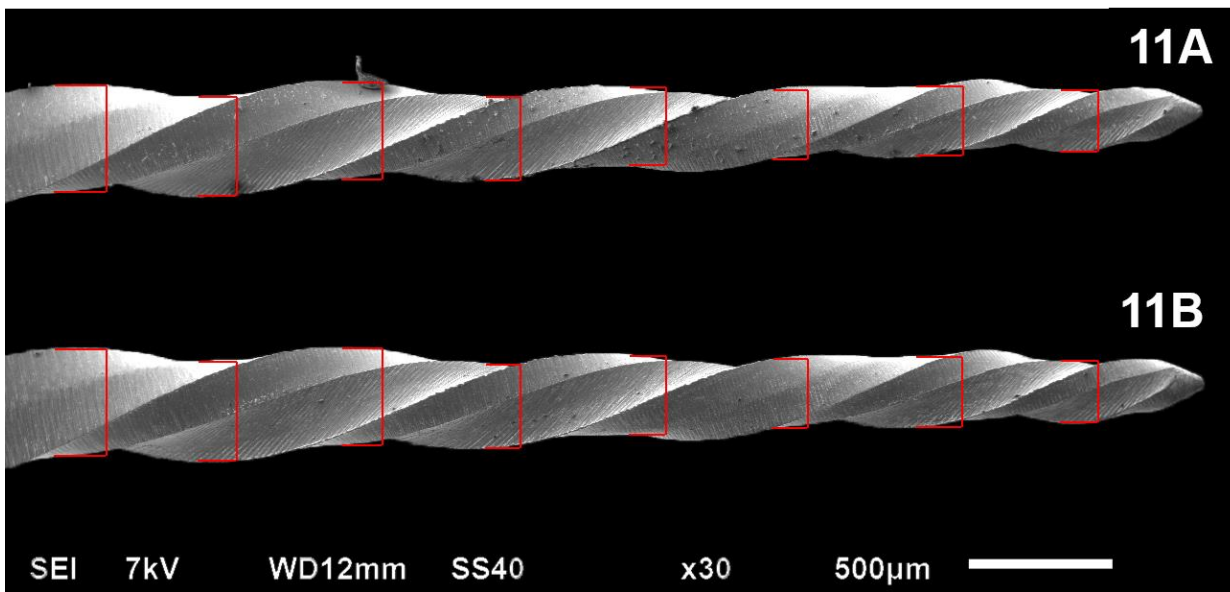


Figura 11. Mensuração do diâmetro transversal a cada 0,5mm a partir da ponta do instrumento WaveOne® Small, antes (11A) e depois (11B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 8. Dimensões (μm) dos instrumentos WaveOne® *Primary*.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	11400,00	10145,37	0,209
Área Aresta 2	16420,37	16930,56	0,715
Área Aresta 3	25245,37	25437,04	0,883
Área Núcleo	1259451,85	1264200,00	0,583
Diâmetro 0,5	263,81	266,02	0,612
Diâmetro 1,0	287,80	284,46	0,592
Diâmetro 1,5	329,50	328,37	0,858
Diâmetro 2,0	363,66	366,43	0,769
Diâmetro 2,5	391,75	391,74	1,000
Diâmetro 3,0	413,81	418,27	0,525
Diâmetro 3,5	438,80	437,69	0,867
Diâmetro 4,0	453,31	451,62	0,829
Comprimento Aresta 1	725,87	742,89	0,681
Comprimento Aresta 2	890,55	895,26	0,624
Comprimento Aresta 3	1075,96	1066,20	0,654

WaveOne® *Primary* n.25/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça).

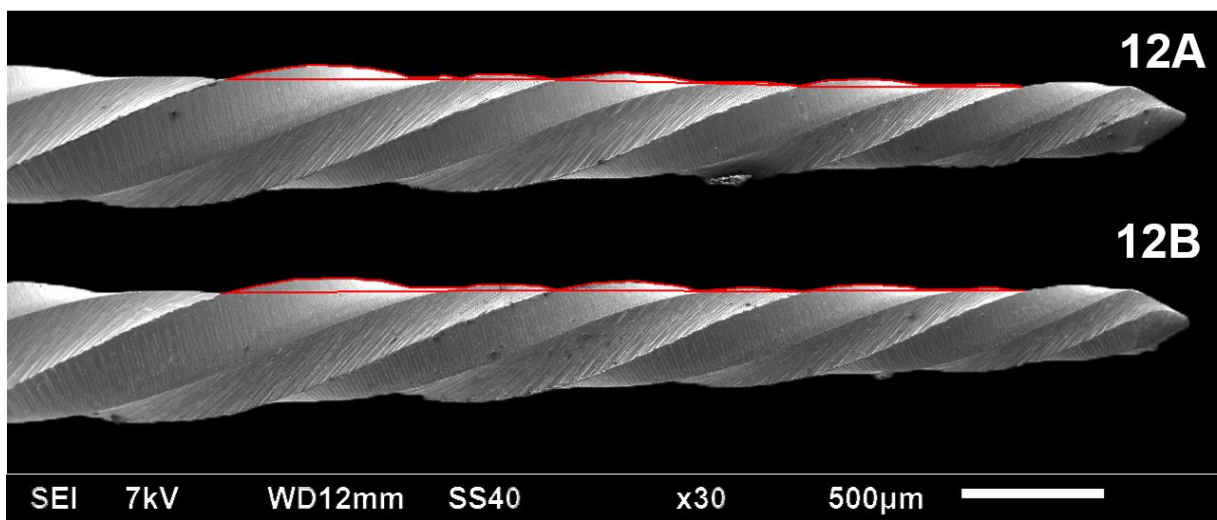


Figura 12. Delimitação das áreas das arestas laterais de corte do instrumento WaveOne® Primary, antes (12A) e depois (12B) do preparo do canal radicular simulado.

Tabela 9. Dimensões (μm) dos instrumentos WaveOne® *Large*.

Variável	Média antes do preparo	Média após o preparo	P
Área Aresta 1	43952,78	48920,37	0,331
Área Núcleo	1490857,41	1511757,41	0,236
Diâmetro 0,5	355,45	370,44	0,060
Diâmetro 1,0	402,95	404,06	0,871
Diâmetro 1,5	426,18	431,73	0,515
Diâmetro 2,0	467,03	451,47	0,044
Diâmetro 2,5	489,47	486,80	0,363
Diâmetro 3,0	520,00	513,85	0,473
Diâmetro 3,5	542,78	543,34	0,921
Diâmetro 4,0	571,35	564,45	0,363
Comprimento Aresta 1	1175,57	1756,72	0,234

WaveOne® *Large* n.40/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça).

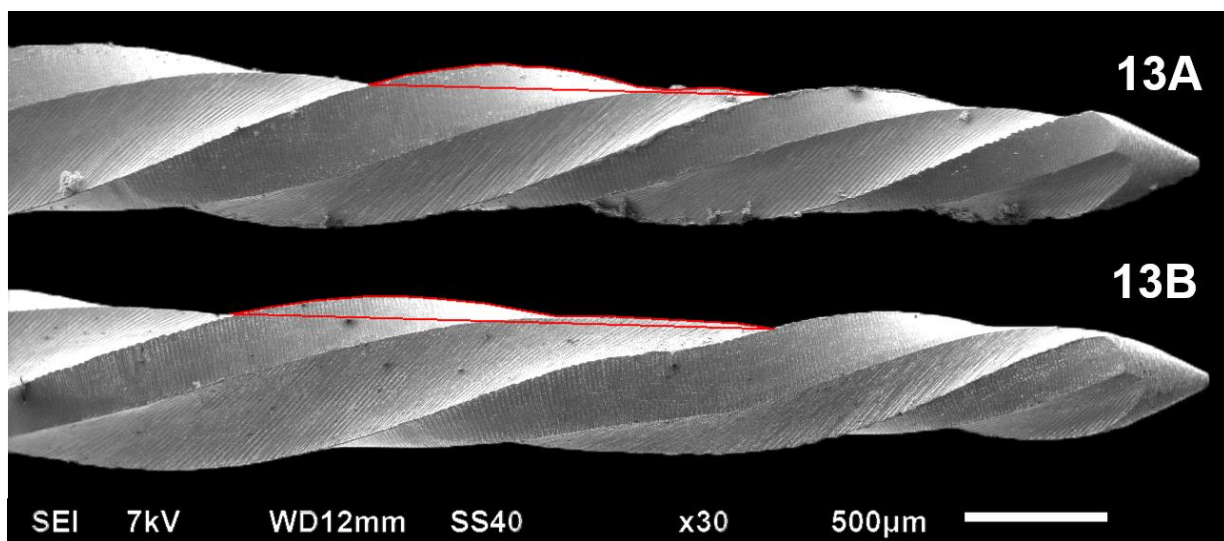


Figura 13. Delimitação da área da aresta lateral de corte do instrumento WaveOne® *Large*, antes (13A) e depois (13B) do preparo do canal radicular simulado. A mensuração demonstra a deformação plástica no instrumento.

Tabela 10. Comparação entre os instrumentos Reciproc® R25, Unicone® n. 25 e WaveOne® Primary, antes e após o uso.

Variável	Reciproc® R25 antes	Reciproc® R25 depois	Unicone n.25 antes	Unicone n.25 depois	WaveOne Primary antes	WaveOne Primary depois
Área da aresta 1	34871,30 ^A	34498,15 ^A	17780,56 ^{BC}	19802,78 ^C	11400,00 ^{BD}	10145,37 ^D
Área da aresta 2	52392,59 ^A	52155,55 ^A	26574,08 ^{BC}	30200,00 ^C	16420,37 ^D	16930,56 ^{BD}
Área do núcleo	976682,41 ^A	973281,48 ^A	1102911,11 ^B	1086040,74 ^B	1259451,85 ^C	1264200,00 ^C
Diâmetro a 0,5mm	187,00 ^A	182,52 ^A	268,80 ^B	272,80 ^B	263,81 ^B	266,02 ^B
Diâmetro a 1,0mm	299,51 ^A	294,53 ^A	291,76 ^A	287,32 ^A	287,80 ^A	284,46 ^A
Diâmetro a 1,5mm	247,18 ^A	254,41 ^A	301,12 ^B	303,90 ^B	329,50 ^C	328,37 ^C
Diâmetro a 2,0mm	357,28 ^A	333,66 ^A	320,53 ^B	319,42 ^B	363,66 ^A	366,43 ^A
Diâmetro a 2,5mm	365,02 ^A	374,43 ^A	348,47 ^A	351,25 ^A	391,75 ^A	391,74 ^A
Diâmetro a 3,0mm	365,31 ^A	364,57 ^A	369,19 ^A	370,85 ^A	413,81 ^B	418,27 ^B
Diâmetro a 3,5mm	483,86 ^A	473,77 ^A	397,25 ^B	394,50 ^B	438,80 ^C	437,69 ^C
Diâmetro a 4,0mm	401,23 ^A	419,02 ^A	423,88 ^A	425,55 ^A	453,31 ^A	451,62 ^A
Comprimento da aresta 1	1059,89 ^A	1048,20 ^A	938,98 ^B	925,89 ^B	725,87 ^C	742,89 ^C
Comprimento da aresta 2	1242,84 ^A	1226,44 ^A	1098,74 ^B	1094,84 ^B	890,55 ^C	895,26 ^C

Tabela 11. Comparação entre os instrumentos Reciproc® R40, Unicone® n. 40 e WaveOne® Large, antes e após o uso.

Variável	Reciproc® R40 antes	Reciproc® R40 depois	Unicone® n.40 antes	Unicone® n.40 depois	WaveOne® Large antes	WaveOne® Large depois
Área da aresta 1	76051,85 ^{AB}	81265,74 ^B	73115,74 ^{ABC}	99125,93 ^B	43952,78 ^C	48920,37 ^{AC}
Área do núcleo	1111100,00 ^A	1108128,70 ^A	1386538,89 ^B	1376334,26 ^B	1490857,41 ^C	1511757,41 ^C
Diâmetro a 0,5mm	288,12 ^A	355,35 ^B	356,64 ^B	354,99 ^B	355,45 ^B	370,44 ^B
Diâmetro a 1,0mm	369,05 ^B	321,80 ^B	396,14 ^A	392,83 ^A	402,95 ^A	404,06 ^A
Diâmetro a 1,5mm	380,57 ^A	384,95 ^A	417,85 ^A	418,97 ^A	426,18 ^A	431,73 ^A
Diâmetro a 2,0mm	395,66 ^A	443,41 ^{AB}	450,46 ^{AB}	439,90 ^{AB}	467,03 ^B	451,47 ^{AB}
Diâmetro a 2,5mm	445,95 ^A	378,76 ^A	463,51 ^A	461,30 ^A	489,47 ^A	486,80 ^A
Diâmetro a 3,0mm	442,44 ^A	444,16 ^A	490,51 ^{AB}	485,74 ^{AB}	520,00 ^B	513,85 ^B
Diâmetro a 3,5mm	425,39 ^A	517,03 ^B	515,60 ^B	516,72 ^B	542,78 ^B	543,34 ^B
Diâmetro a 4,0mm	516,69 ^A	502,79 ^A	541,97 ^A	523,86 ^A	571,35 ^A	564,45 ^A
Comprimento da aresta 1	1368,57 ^{AB}	1395,60 ^{AB}	1646,23 ^{BC}	1959,14 ^C	1175,57 ^A	1756,72 ^{AB}

5 DISCUSSÃO

Os instrumentos de níquel-titânio reciprocantes disponíveis no mercado apresentam diferentes características, variando seu diâmetro, conicidade e seção transversal. Essas variações podem acarretar em diferenças na resistência e comportamento mecânico desses instrumentos. No presente estudo, foram analisados três instrumentos de cada sistema (Reciproc[®], WaveOne[®] e Unicone[®]), em diferentes tamanhos.

Os instrumentos Reciproc[®] apresentaram as maiores arestas e a maior proporção aresta lateral de corte/núcleo, enquanto os instrumentos WaveOne[®] apresentaram a menor relação aresta/núcleo. Os instrumentos Reciproc[®] não apresentaram deformações plásticas na estrutura identificáveis nas imagens de microscopia eletrônica de varredura quando considerados os três instrumentos analisados de cada sistema. Entretanto, alterações em algumas dimensões após o uso dos instrumentos foram verificadas. As maiores

Schafer & Tepel (2001) reportaram que instrumentos fabricados por desgaste apresentaram maior resistência à fratura quanto menor o número de arestas laterais de corte. Além disso, a maior área da aresta pode representar um reforço à estrutura do instrumento nesta região (BIZ & FIGUEIREDO, 2004).

A avaliação de resistência à fratura de instrumentos reciprocantes Reciproc[®] R40 e WaveOne[®] *Large* mostraram que o instrumento Reciproc[®] apresentou maior resistência à fratura por fadiga cíclica (KIM *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2014). A resistência à fratura por flexão rotativa foi avaliada nos instrumentos Reciproc[®] R25 e WaveOne[®] *Primary* e indicou resultado inferior dos instrumentos WaveOne[®] (HIGUERA *et al.*, 2015). Os resultados apresentados são similares aos encontrados nestes estudos, nos quais os

instrumentos WaveOne® apresentaram maior alteração dimensional após o uso e dois dos três instrumentos *Large* avaliados apresentaram deformações plásticas.

Baseado no resultado do presente estudo e no conhecimento científico sobre análise estrutural de instrumentos endodônticos de estudos prévios (SCHAFER & TEPEL, 2001; BIZ & FIGUEIREDO, 2004), sugere-se que o instrumento Reciproc® pode apresentar maior resistência à fadiga cíclica devido à sua maior aresta, tanto em área como também em comprimento, e menor núcleo. A maior área de núcleo no instrumento WaveOne® também pode levar a maior resistência à fratura por torção neste instrumento. Estes resultados podem influenciar na escolha do instrumento endodôntico recíprocante para cada tipo de canal. Em um canal radicular com curvatura mais acentuada, o instrumento Reciproc® seria mais indicado, enquanto que em um canal radicular mais atresícos e retos, o instrumento WaveOne® seria mais indicado.

Entretanto, a escolha do instrumento endodôntico mais adequado deve ser baseada também em outros parâmetros. Outros fatores que afetam as propriedades de resistência dos instrumentos estão associados aos aspectos clínicos, como a morfologia do canal radicular e experiência do operador, além da forma transversal do instrumento e a cinemática à qual o instrumento é submetido (HÜLSMANN *et al.*, 2005; CHEUNG, 2009; MCGUIGAN *et al.*, 2013).

O instrumento Reciproc® apresenta seção transversal em forma de “S”, o instrumento WaveOne® apresenta formato “triangular com concavidades próximas à aresta de corte”, e o Unicone® apresenta forma “triangular com canais convexos”. Schafer & Tepel (2001) avaliaram a resistência à fratura de instrumentos rotatórios submetidos ao teste de deflexão angular, e os

instrumentos com seções triangulares apresentaram maior resistência à fratura por torção em relação aos em forma de “S”.

Estudos têm demonstrado que instrumentos de níquel-titânio submetidos ao movimento recíprocante apresentam maior resistência à fadiga cíclica (DE-DEUS *et al.*, 2010; WAN *et al.*, 2011; GAVINI *et al.*, 2012; PEDULLA *et al.*, 2013). Contudo, mesmo com único uso do instrumento e com sua substituição frente à observação de qualquer deformação, a fratura pode ocorrer naturalmente (CUNHA *et al.*, 2014; PLOTINO *et al.*, 2014).

O canal radicular necessita ser ampliado dentro de limites anatômicos, independente das propriedades do instrumento ou da técnica utilizada. Na região apical dos canais radiculares de dentes permanentes, o diâmetro máximo dos canais radiculares em pré-molares a 1mm do ápice varia de 0,18mm a 0,37mm, e em molares varia de 0,19mm a 0,45mm (WU *et al.*, 2000). Ran *et al.* (2015) avaliaram a penetração de *Enterococcus faecalis* em túbulos dentinários de dentes unirradiculares preparados até instrumento de diâmetro da ponta de 0,30mm em diferentes condições. Os micro-organismos foram capazes de penetrar 435µm no interior da dentina da região apical, e mesmo em condição de pressão alcalina fraca (pH=9,0) penetraram 322µm e perto dos 100µm em pH 10. Assim, os fatores anatômicos e microbiológicos permitem direcionar a ampliação mínima com instrumentos de diâmetro inicial superior ao recomendado pelos fabricantes de instrumentos de rotação recíproca, que é D_0 igual a 0,25mm.

No presente estudo, todos os instrumentos apresentaram alterações dimensionais de forma visíveis quando utilizados em canais de D_0 igual a 0,18mm, mesmo quando insignificantes estatisticamente. Optou-se por utilizar todos os instrumentos disponíveis em canais radiculares de D_0 igual a 0,18mm

e curvos para verificar e compreender as alterações dimensionais destes instrumentos após o preparo dos canais radiculares curvos. A região mais próxima à ponta (4mm) dos instrumentos foi escolhida para ser estudada por ser onde ocorre o maior número de fraturas. Cunha *et al.* (2014) mostraram que as fraturas de todos os instrumentos WaveOne® ocorreram próximo à ponta do instrumento.

O uso de canais simulados permitiu uma padronização do diâmetro do canal radicular em toda a sua extensão. Apesar das limitações inerentes ao uso de canais simulados, os resultados do trabalho se mostraram similares a estudos prévios (SCHAFER & TEPEL, 2001; KIM *et al.*, 2012; PLOTINO *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2014; HA *et al.*, 2015; HIGUERA *et al.*, 2015).

O método utilizado no presente estudo se mostrou complementar na detecção de deformações plásticas dos instrumentos endodônticos. Algumas deformações plásticas, apesar de visíveis pelo aumento em microscopia eletrônica de varredura, não foram detectadas pela mensuração devido ao posicionamento da superfície externa do instrumento, resultando em valor de área ou linear próximo do aferido antes do uso do instrumento. Por outro lado, as mensurações são úteis na detecção de alterações morfológicas menos evidentes visualmente.

O *software* AxioVision®, utilizado em estudo anterior (MACHADO *et al.*, 2013), permitiu a delimitação externa destas áreas com precisão, e o aumento de 30x se mostrou efetivo tanto para as mensurações com precisão, como também para a visualização de deformações plásticas nos instrumentos. Biz & Figueiredo (2004) demonstraram que o aumento de 60X era preciso para a mensuração das superfícies desgastadas da aresta lateral de corte e do núcleo, e que este método era efetivo para se obter a relação entre as duas

mensurações. O aumento de 30X permitiu a mensuração das estruturas morfológicas analisadas presentes nos 4mm iniciais a partir da ponta do instrumento.

A análise da estrutura dos instrumentos deve ser bem estudada, uma vez que pode influenciar diretamente no comportamento mecânico durante o preparo do complexo sistema de canais radiculares. As características estudadas indicam que os instrumentos endodônticos Reciproc® devem apresentar maior flexibilidade, com maior resistência à fratura por flexão rotativa. Já os instrumentos WaveOne® devem apresentar menor flexibilidade e maior resistência no núcleo do instrumento, com maior resistência à fratura por torção.

Novos estudos devem ser realizados com intuito de compreender melhor o comportamento mecânico dos instrumentos reciprocantes e como que o desenho e dimensões destes instrumentos podem influenciar em suas propriedades quando em função.

6 CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia empregada, podemos concluir que os instrumentos Reciproc® apresentam as maiores arestas laterais de corte em área e comprimento e os menores núcleos, quando comparados aos instrumentos Unicone® e WaveOne® de tamanho similar. Os instrumentos Unicone® apresentaram a maior quantidade de deformações plásticas por microscopia eletrônica de varredura. Maiores dimensões de aresta lateral de corte e menores dimensões de núcleo apresentaram menor número de deformações plásticas após preparo de canais radiculares simulados curvos.

REFERÊNCIAS

- ARIAS, A.;LEE, Y. H.;PETERS, C. I.;GLUSKIN, A. H.;PETERS, O. A. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 982-5, Jul 2014.
- BIZ, M. T.; FIGUEIREDO, J. A. Morphometric analysis of shank-to-flute ratio in rotary nickel-titanium files. **Int Endod J**, v. 37, n. 6, p. 353-8, Jun 2004.
- BURKLEIN, S.;TSOTSIS, P.;SCHAFER, E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. **J Endod**, v. 39, n. 4, p. 501-4, Apr 2013.
- CHEUNG, G. S. P. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. **ETP Endodontic Topics**, v. 16, n. 1, p. 1-26, 2009.
- CUNHA, R. S.;JUNAID, A.;ENSINAS, P.;NUDERA, W.;BUENO, C. E. Assessment of the separation incidence of reciprocating WaveOne files: a prospective clinical study. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 922-4, Jul 2014.
- DE-DEUS, G.;ARRUDA, T. E.;SOUZA, E. M.;NEVES, A.;MAGALHAES, K.;THUANNE, E.;FIDEL, R. A. The ability of the Reciproc R25 instrument to reach the full root canal working length without a glide path. **Int Endod J**, v. 46, n. 10, p. 993-8, Oct 2013.
- DE-DEUS, G.;LEAL VIEIRA, V. T.;NOGUEIRA DA SILVA, E. J.;LOPES, H.;ELIAS, C. N.;MOREIRA, E. J. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne *Large* instruments. **J Endod**, v. 40, n. 4, p. 575-9, Apr 2014.
- DE-DEUS, G.;MOREIRA, E. J.;LOPES, H. P.;ELIAS, C. N. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. **Int Endod J**, v. 43, n. 12, p. 1063-8, Dec 2010.
- ESTRELA, C.;HOLLAND, R.;ESTRELA, C. R.;ALENCAR, A. H.;SOUSA-NETO, M. D.;PECORA, J. D. Characterization of successful root canal treatment. **Braz Dent J**, v. 25, n. 1, p. 3-11, Jan-Feb 2014.
- FRANK, A. L. An evaluation of the Giromatic endodontic handpiece. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 24, n. 3, p. 419-21, Sep 1967.
- GAVINI, G.;CALDEIRA, C. L.;AKISUE, E.;CANDEIRO, G. T.;KAWAKAMI, D. A. Resistance to flexural fatigue of Reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. **J Endod**, v. 38, n. 5, p. 684-7, May 2012.
- HA, J. H.;KIM, S. R.;VERSLUIS, A.;CHEUNG, G. S.;KIM, J. W.;KIM, H. C. Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 41, n. 5, p. 715-9, May 2015.

HAAPASALO, M.; SHEN, Y. Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. **ETP Endodontic Topics**, v. 29, n. 1, p. 3-17, 2013.

HIGUERA, O.; PLOTINO, G.; TOCCI, L.; CARRILLO, G.; GAMBARINI, G.; JARAMILLO, D. E. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 6, p. 913-5, 2015.

HÜLSMANN, M.; PETERS, O. A.; DUMMER, P. M. H. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. **Endodontic Topics**, v. 10, n. 1, p. 30-76, 2005.

JAMLEH, A.; KOMABAYASHI, T.; EBIHARA, A.; NASSAR, M.; WATANABE, S.; YOSHIOKA, T.; MIYARA, K.; SUDA, H. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. **Int Endod J**, v. 48, n. 12, p. 1103-11, Dec 2015.

JIN, S. Y.; LEE, W.; KANG, M. K.; HUR, B.; KIM, H. C. Single file reciprocating technique using conventional nickel-titanium rotary endodontic files. **Scanning**, v. 35, n. 6, p. 349-54, Nov-Dec 2013.

KARATAS, E.; GUNDUZ, H. A.; KIRICI, D. O.; ARSLAN, H.; TOPCU, M. C.; YETER, K. Y. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. **J Endod**, v. 41, n. 2, p. 261-4, Feb 2015.

KIEFNER, P.; BAN, M.; DE-DEUS, G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? **Int Endod J**, v. 47, n. 5, p. 430-6, May 2014.

KIM, H. C.; KWAK, S. W.; CHEUNG, G. S.; KO, D. H.; CHUNG, S. M.; LEE, W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. **J Endod**, v. 38, n. 4, p. 541-4, Apr 2012.

LIU, S. B.; FAN, B.; CHEUNG, G. S.; PENG, B.; FAN, M. W.; GUTMANN, J. L.; SONG, Y. L.; FU, Q.; BIAN, Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-Flexofile. **Am J Dent**, v. 19, n. 6, p. 353-8, Dec 2006.

LOPES, H. P.; ELIAS, C. N.; AMARAL, G.; VIEIRA, V. T.; MOREIRA, E. J.; MANGELLI, M.; SIQUEIRA, J. F., JR. Torsional properties of pathfinding instruments. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 112, n. 5, p. 667-70, Nov 2011.

LOPES, H. P.; ELIAS, C. N.; ESTRELA, C.; SIQUEIRA, J. F., JR. Assessment of the apical transportation of root canals using the method of the curvature radius. **Braz Dent J**, v. 9, n. 1, p. 39-45, 1998.

LOPES, H. P.; ELIAS, C. N.; VIEIRA, M. V.; SIQUEIRA, J. F., JR.; MANGELLI, M.; LOPES, W. S.; VIEIRA, V. T.; ALVES, F. R.; OLIVEIRA, J. C.; SOARES, T. G.

Fatigue Life of Reciproc and Mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. **J Endod**, v. 39, n. 5, p. 693-6, May 2013.

LOPES, H. P.;ELIAS, C. N.;VIEIRA, V. T.;MOREIRA, E. J.;MARQUES, R. V.;DE OLIVEIRA, J. C.;DEBELIAN, G.;SIQUEIRA, J. F., JR. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 36, n. 10, p. 1653-7, Oct 2010.

MACHADO, R.;SILVA NETO, U. X.;IGNACIO, S. A.;CUNHA, R. S. Lack of correlation between obturation limits and apical leakage. **Braz Oral Res**, v. 27, n. 4, p. 331-5, Jul-Aug 2013.

MCGUIGAN, M. B.;LOUCA, C.;DUNCAN, H. F. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. **Br Dent J**, v. 214, n. 7, p. 341-8, Apr 2013.

PEDULLA, E.;GRANDE, N. M.;PLOTINO, G.;GAMBARINI, G.;RAPISARDA, E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 258-61, Feb 2013.

PETERS, O. A.;BARBAKOW, F.;PETERS, C. I. An analysis of endodontic treatment with three nickel-titanium rotary root canal preparation techniques. **Int Endod J**, v. 37, n. 12, p. 849-59, Dec 2004.

PLOTINO, G.;GRANDE, N. M.;PORCIANI, P. F. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. **Int Endod J**, Apr 22 2014.

PLOTINO, G.;GRANDE, N. M.;TESTARELLI, L.;GAMBARINI, G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. **Int Endod J**, v. 45, n. 7, p. 614-8, Jul 2012.

RAN, S.;WANG, J.;JIANG, W.;ZHU, C.;LIANG, J. Assessment of dentinal tubule invasion capacity of *Enterococcus faecalis* under stress conditions ex vivo. **Int Endod J**, v. 48, n. 4, p. 362-72, Apr 2015.

SCHAFER, E.; TEPEL, J. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. **J Endod**, v. 27, n. 4, p. 299-303, Apr 2001.

SCHILDER, H. Cleaning and shaping the root canal. **Dent Clin North Am**, v. 18, n. 2, p. 269-96, Apr 1974.

SHEN, Y.;ZHOU, H. M.;ZHENG, Y. F.;PENG, B.;HAAPASALO, M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 163-72, Feb 2013.

SHIN, C. S.;HUANG, Y. H.;CHI, C. W.;LIN, C. P. Fatigue life enhancement of NiTi rotary endodontic instruments by progressive reciprocating operation. **Int Endod J**, v. 47, n. 9, p. 882-8, Sep 2014.

SPYROPOULOS, S.;ELDEEB, M. E.;MESSER, H. H. The effect of Giromatic files on the preparation shape of severely curved canals. **Int Endod J**, v. 20, n. 3, p. 133-42, May 1987.

WALIA, H. M.;BRANTLEY, W. A.;GERSTEIN, H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **J Endod**, v. 14, n. 7, p. 346-51, Jul 1988.

WAN, J.;RASIMICK, B. J.;MUSIKANT, B. L.;DEUTSCH, A. S. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. **Aust Endod J**, v. 37, n. 3, p. 122-7, Dec 2011.

WANG, N. N.;GE, J. Y.;XIE, S. J.;CHEN, G.;ZHU, M. Analysis of Mtwo rotary instrument separation during endodontic therapy: a retrospective clinical study. **Cell Biochem Biophys**, v. 70, n. 2, p. 1091-5, Nov 2014.

WU, M. K.;R'ORIS, A.;BARKIS, D.;WESSELINK, P. R. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 89, n. 6, p. 739-43, Jun 2000.

YARED, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. **Int Endod J**, v. 41, n. 4, p. 339-44, Apr 2008.

ARTIGO

Title: Flute and shank dimensional characterization of reciprocating instruments before and after simulated root canal shaping

Authors: Sampaio FC, Brito APP, Veloso HHP, Decurcio DA, Estrela C.

Abstract

Purpose: The purpose of the present study was to analyze the influence of instrument's flute and shank dimensions on formation of plastic deformations and dimensional changes of reciprocating instruments. **Material and Methods:** The reciprocating endodontic instruments used were Reciproc[®] R25, R40 and R50, WaveOne[®] Small, Primary and Large, Unicone[®] n.20, n.25 and n.40. Scanning electron microscopy images were obtained of 4mm from the instrument's tip (30X magnification) before and after shaping of simulated curved root canals, and the instruments were used only once. The images were transferred to software AxioVision[®] to measure the instruments: flute area (μm^2), shank area (μm^2), flute longitudinal length (μm), instrument transversal diameter (μm). The difference of data before and after root canal shaping was compared by Students' T test for paired samples. The instruments were classified for the plastic deformations presence after root canal shaping. **Results:** Reciproc[®] instruments showed larger flutes and smaller shanks. The Reciproc[®] R40 showed significant difference for transversal diameter at 0.5mm from the tip. Reciproc[®] had not plastic deformations. Unicone[®] instruments showed significant differences on n.20 instruments for transversal diameter at 1.5 and 3.0mm from the tip, and instrument n.25 had difference at 1.5 and 3.0mm and second and third flute longitudinal length. Plastic deformations were visualized on one instrument n.20m and on three n.40. WaveOne[®] instruments showed significant differences for first and fourth flutes length of WaveOne[®] Primary, and transversal diameter at 2.0mm from the tip of WaveOne[®] Large. Plastic deformations were present in two of three Large instruments. **Conclusions:** Reciproc[®] instruments had greater area and length of flutes and smaller shanks compared to Unicone[®] and WaveOne[®] of similar sizes. Reciproc[®] showed greater flute to shank ratio. WaveOne[®] had the lowest flute to shank ratio. Unicone[®] instruments showed more plastic deformations.

Keywords: Plastic deformations, flute, reciprocating instruments.

Introduction

Root canal sanitization is based upon cleanliness, microbial control and root canal shaping, regardless of the pulp condition (SCHILDER, 1974). Root canal cleaning and shaping includes irrigation strategies added by mechanic behavior of endodontic instruments. The root canal perfectly shaped represents a refined standard for perfect endodontic and coronal sealing (ESTRELA *et al.*, 2014).

Root canal system shaping represents a challenge to the endodontist directly associated to the instrument used. Curved root canal preparation using a non-flexible instrument is complex and aggregate difficulties to maintain original shape and position of apical foramen, especially during enlargement to adequate diameters according to root canal anatomy (LOPES *et al.*, 1998; LIU *et al.*, 2006).

The need of a more flexible instrument led to study of nickel-titanium. Those instruments showed largely superior flexibility than stainless steel instruments (WALIA *et al.*, 1988). These instruments advance, manufacturing process and characteristics of use allowed to safely shape the root canal using continuous rotation (PETERS *et al.*, 2004). However, plastic deformations can appear during root canal shaping and even be responsible for the instrument fracture. This may be one of the major problems during root canal preparation (WANG *et al.*, 2014).

The need to improve the nickel-titanium endodontic instrument introduced different morphologic structures, transversal sections (HAAPASALO & SHEN, 2013), surface treatment (LOPES *et al.*, 2010), and thermal treatments (SHEN *et al.*, 2013).

The reciprocating motion was recently introduced associated to nickel-titanium instruments (YARED, 2008). Since the 60's there was a motor able to

perform this motion for root canal shaping. The motor performed quarter turn clockwise followed by quarter turn counterclockwise (FRANK, 1967). This motions did not present great benefit for the instruments available at the time compared to manual preparation (SPYROPOULOS *et al.*, 1987). Thus, this motion features were previously described.

The reciprocating motion for nickel-titanium instruments performs a clockwise movement and, before the complete rotation, performs a shorter counterclockwise movement. This cinematics provides an advance to reduce fracture of nickel-titanium instruments (YARED, 2008; LOPES *et al.*, 2013). Comparative studies showed reciprocating motion enhances cyclic fatigue resistance, as avoids bending of the instruments tip at root canal walls, enhancing resistance to torsional fracture (DE-DEUS *et al.*, 2010; WAN *et al.*, 2011; GAVINI *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2013; JIN *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2013; PEDULLA *et al.*, 2013; KIEFNER *et al.*, 2014; SHIN *et al.*, 2014).

Reciprocating instruments deformed and fractured despite these advantages. A study evaluated 1696 Reciproc[®] instruments used clinically and found fractured (0.47%) and deformed (0.35%) R25 instruments used only once (PLOTINO *et al.*, 2014). Another clinical study evaluated fracture of 2215 WaveOne[®] instruments used only once and found three fractured instruments at apical third (CUNHA *et al.*, 2014). Other studies comparing Reciproc[®] and WaveOne[®] found similar results (KIM *et al.*, 2012; PLOTINO *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2014).

Instruments mechanical behavior during root canal shaping might affect the tooth and influence endodontic treatment prognosis. Several studies highlight microcracks developed after root canal shaping using reciprocating

instruments (BURKLEIN *et al.*, 2013; ARIAS *et al.*, 2014; JAMLEH *et al.*, 2015; KARATAS *et al.*, 2015).

Burklein *et al.* (2013) evaluated the incidence of dentinal fractures in 100 mandibular central incisors after root canal shaping using rotary (Mtwo[®] and ProTaper[®]) and reciprocating instruments (Reciproc[®] and WaveOne[®]). The fractures were verified by root sectioning at 3mm, 6mm and 9mm. Reciprocating and rotary instruments produced microcracks at dentinal surface. At apical third, reciprocating instruments produced more microcracks ($P < 0.05$).

Arias *et al.* (2014) evaluated microcracks at dentinal surface of mandibular incisors after root canal shaping using two instruments (manual and reciprocating). This pilot study used GT Profile[®] and WaveOne[®] endodontic instruments. Microcracks occurred more using reciprocating instruments in 3mm from apex and at similar levels in 6mm and 9mm from the apex compared to manual instruments.

The morphological features of the active part design may influence the resistance and mechanical behavior of endodontic instruments (HÜLSMANN *et al.*, 2005; CHEUNG, 2009; MCGUIGAN *et al.*, 2013). Biz & Figueiredo (2004) evaluated the relation between flute and shank dimensions at first, third and fifth flute area of ProFile .04, ProFile .06, Pow R .02, Pow R .04 and Quantec 2000 instruments. Shank-to-flute ratio showed proportional for all the instruments. Quantec 2000 showed larger flute compared to the other instruments, which could provide a structure reinforcement at this site of the instrument.

Since the available instruments have different flutes and shanks designs and dimensions, it is opportune to evaluate the influence of these parameters to the occurrence of deformations in the available endodontic reciprocating instruments.

The purpose of the present study was to analyze the influence of flute and shank dimensions present at the first 4mm to occurrence of plastic deformations and dimensional alterations in reciprocating instruments after root canal shaping.

Material and methods

3.1 Sample selection

The flute and shank dimensional analysis was performed in reciprocating instruments of different tapers and origins: Reciproc® R25 - n.25/.08, R40 - n.40/.06, e R50 - n.50/.05 (VDW, Munich, Germany); Unicone® n.20/.06, n.25/.06, n.40/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, Czech Republic); WaveOne® *Small* - n.21/.06, *Primary* - n.25/.08, *Large* - n.40/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). Three instruments of each type were used (n=27).

3.2 Images acquisition before root canal shaping

The samples (reciprocating instruments without use) were fixed in 5.5cm diameter stubs. The surface images of each instrument was acquired by Scanning Electron Microscopy (Jeol, JSM – 6610, Tokyo, Japan). The images were acquired (30X magnification and 7kV tension) of the first 4mm from the tip of the instrument at two positions: A – plane face (concave) of the rod; and B – convex face of the rod (LabMic, UFG).

3.3 Root canal shaping

The instruments were cleaned at running water and then put at ultrasonic bowl (Cristófoli, Campo Mourão – PR, Brazil) for 3 minutes, and dried with clean and sterile gauze.

Twenty seven simulated and standardized (0,18mm no limite apical e 15mm de comprimento) curved root canals (IM do Brasil Ltda., São Paulo – SP, Brazil) were used for root canal shaping. The simulated root canals were irrigated with 5mL of sodium hypochlorite 2.5% (Fórmula Mais, Palmas – TO, Brazil) during root canal shaping. Root canals were prepared with single instrument and the use of electric motor X-Smart Plus® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). The “Reciproc” program was used for Reciproc® instruments, and “WaveOne” program was used for WaveOne® and Unicone® instruments. The “WaveOne” program was selected for Unicone® instruments because this system presents instruments of similar numbers to WaveOne®, and the absence of a specific program for Unicone® instruments in X-Smart Plus®. After root canal shaping, the instruments were cleaned following the method previously described.

3.4 Images acquisition after root canal shaping

The samples were fixed in stubs and the images were acquired by scanning electron microscopy from the instruments tip. The images had 30X magnification and 7kV tension (LabMic, UFG), as previously described.

3.5 Analysis of scanning electron microscopy images

Scanning electron microscopy images were transferred to *software* AxioVision® (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany) to analyze instruments dimensions.

The instruments analysis included the presence of plastic deformations – shape changes at instrument active part, characterized by deformation of instruments flutes (LOPES *et al.*, 2011) – after use compared to its image before use.

Dimensional analysis started at flute area delimitation. This comprehended external delimitation, using as longitudinal limits the touchpoint between the measured flute and the upper and lower helical canals (Figure 1). The flutes measured were positioned in the superior part of the image as standardization, and had to be completely present into the 4mm from the tip of the instrument (μm^2).

The shank area measured was present into the 4mm from the tip. The same points used to delimitate the flute area were used as the lateral limits to measure the shank area. The lower limit was the instrument tip and the upper limit was at 4mm from the tip (Figure 2).

In addition to these measures, the flute length was verified. It was delimited by the touchpoints between flutes and the upper and lower helical canals (Figure 3). The unit of measure was micrometers (μm).

The instrument diameter was measured at 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm, 3.5mm and 4mm from the tip (μm) (Figure 4).

3.6 Statistical analysis

The data of instruments surface plastic deformations were descriptively analyzed by frequency tables of instruments with plastic deformations. The number of deformations and their characteristics were not analyzed, only how many instruments presented plastic deformations after use.

The measurements data were compared before and after use by paired analysis. Student's T test was used to analyze the paired samples.

Instruments number n.25 (Reciproc R25, Unicone n.25 and WaveOne Primary) and n.40 (Reciproc R40, Unicone n.40 and WaveOne Large) were compared between the systems by Analysis of Variances (ANOVA) and Tukey's test.

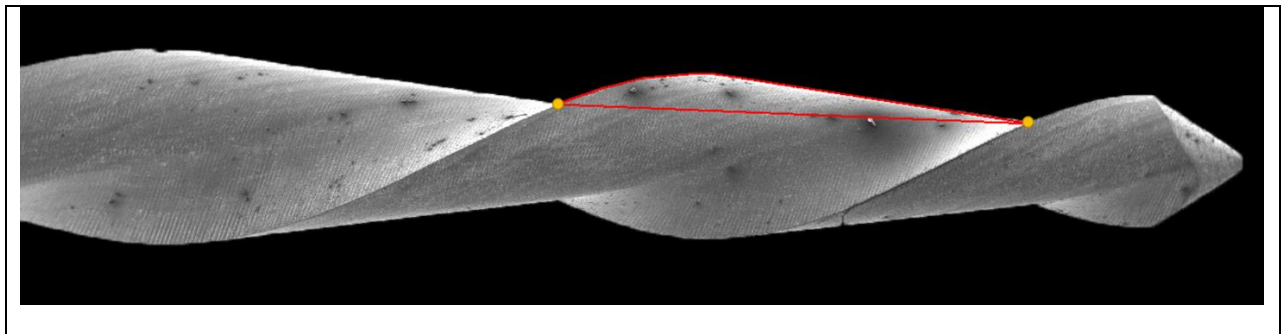


Figure 1. Flute area measurement limits. The yellow points show the upper (further from the tip) and lower (closer from the tip) limits, represented by the touchpoint between flute and the helical canal. This image allowed only one flute measurement, as the next flute was not completely present in the studied area, which comprehended the 4mm from the tip. The flute that finishes in the tip was discarded, as it did not present the lower limit of the flute.

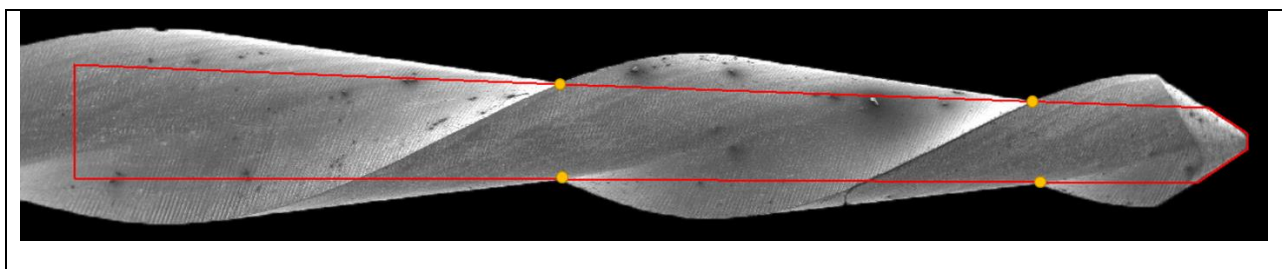


Figure 2. Shank measurement limits. The yellow points show the lateral limits of shank measurement, the same points used for flute measurement. The shank was measured from the tip until 4mm, which represents the studied area.

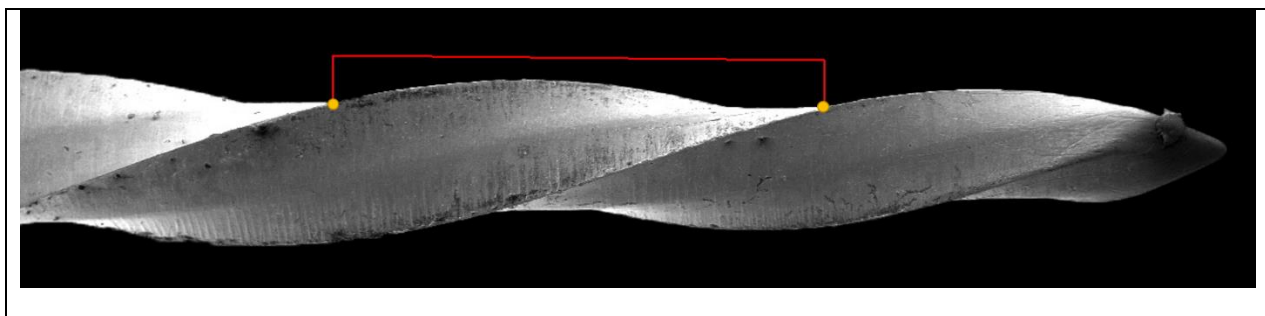


Figure 3. Flute length measurement limits. The yellow points show the upper (further from the tip) and lower (closer from the tip) limits, represented by the touchpoint between flute and the helical canal. This image allowed only one flute measurement, as the next flute was not completely present in the studied area, which comprehended the 4mm from the tip. The flute that finishes in the tip was discarded, as it did not present the lower limit of the flute.

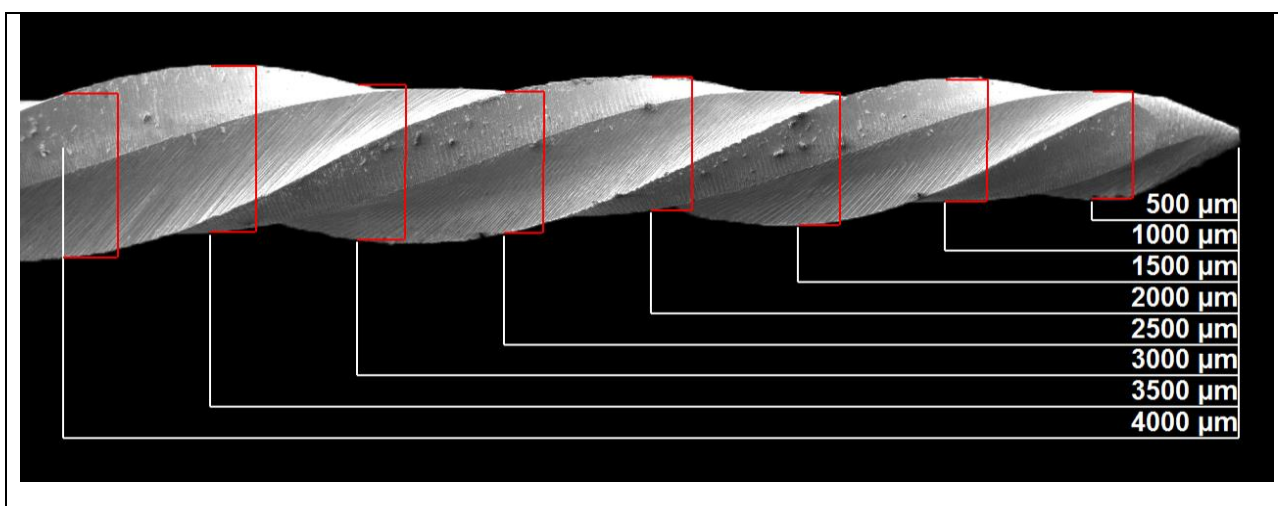


Figure 4. Transversal diameters limits, measured at each 0.5mm (500μm) from the instrument tip. A reference ruler was developed from the scanning electron microscopy image scale. This ruler delimited the measurement area and the points where the diameters should be measured.

Results

SEM images revealed plastic deformations in the endodontic instruments flutes in one Unicone® n.20 instrument, three Unicone® n.40 instruments and 2 WaveOne® Large Instruments.

The measurements identified structural alterations after root canal shaping. Reciproc® instruments showed larger flutes and smaller shanks. Reciproc® R25 did not present significant differences compared before and after preparations of simulated root canals ($P>0.05$; Table 1). Reciproc® R40 instruments showed significant differences only for transversal diameter at 0.5mm from the instrument tip ($P<0.05$, Table 2). Reciproc® R50 instruments did not present significant dimensional differences before and after use in simulated canals ($P<0.05$; Table 3).

Unicone® n.20 instruments presented significant differences ($P<0.05$) in transversal diameter at 1.5 and 3mm from the tip, and at second and third flute length (Table 4). Unicone® n.25 showed significant difference at shank area after use (Table 5). Unicone® n.40 did not show significant difference (Table 6).

WaveOne® Primary instruments presented significant differences for first and fourth flute length. WaveOne® Large had significant differences after root canal shaping at transversal diameter at 2mm from the tip. The other measurements did not present significant differences (Tables 7, 8 and 9).

Comparisons between instruments n.25 (Reciproc® R25, Unicone® n.25 and WaveOne® Primary) did not show significant difference before and after root canal shaping for all the instruments for transversal diameter at 1.0mm, 2.5mm and 4mm from the instrument tip. Comparison between n.25 instruments is available in Table 10.

Comparisons between n.40 instruments (Reciproc® R40, Unicone® n.40 and WaveOne® *Large*) did not showed significant difference before and after root canal shaping for all the instruments for transversal diameter at 1.5mm, 2.5mm and 4mm from the instrument tip. Comparison between n.40 instruments is available in Table 11.

Figures 5 to 13 exemplifies measurements before and after root canal shapings

Table 1. Reciproc® R25 instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	34871.30	34498.15	0.660
Flute area 2	52392.59	52155.55	0.866
Shank area	976682.41	973281.48	0.555
Diameter 0.5	187.00	182.52	0.585
Diameter 1.0	299.51	294.53	0.297
Diameter 1.5	247.18	254.41	0.294
Diameter 2.0	357.28	333.66	0.867
Diameter 2.5	365.02	374.43	0.772
Diameter 3.0	365.31	364.57	0.959
Diameter 3.5	483.86	473.77	0.278
Diameter 4.0	401.23	419.02	0.597
Flute length 1	1059.89	1048.20	0.387
Flute length 2	1242.84	1226.44	0.335

Reciproc® R25 - n.25/.08 (VDW, Munich, Germany).

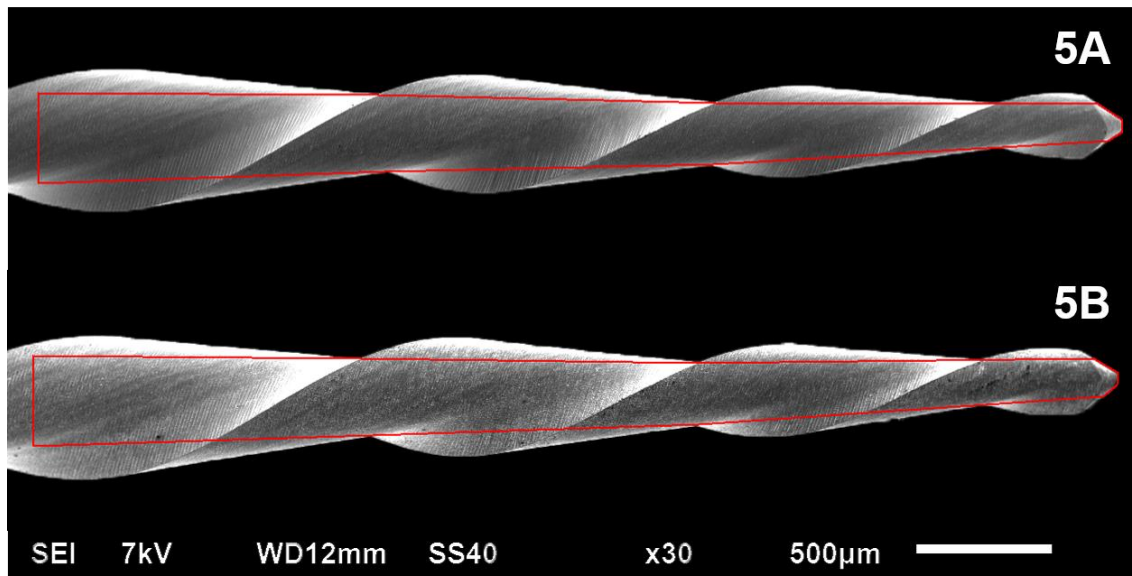


Figure 5. Shank area of Reciproc® R25 before (5A) and after (5B) simulated root canal shaping.

Table 2. Reciproc® R40 instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	76051.85	81265.74	0.452
Shank area	1111100.00	1108128.70	0.854
Diameter 0.5	288.12	355.35	0.028
Diameter 1.0	369.05	321.80	0.144
Diameter 1.5	380.57	384.95	0.911
Diameter 2.0	395.66	443.41	0.240
Diameter 2.5	445.95	378.76	0.155
Diameter 3.0	442.44	444.16	0.973
Diameter 3.5	425.39	517.03	0.069
Diameter 4.0	516.69	502.79	0.793
Flute length 1	1368.57	1395.60	0.577

Reciproc® R40 - n.40/.06 (VDW, Munich, Germany).

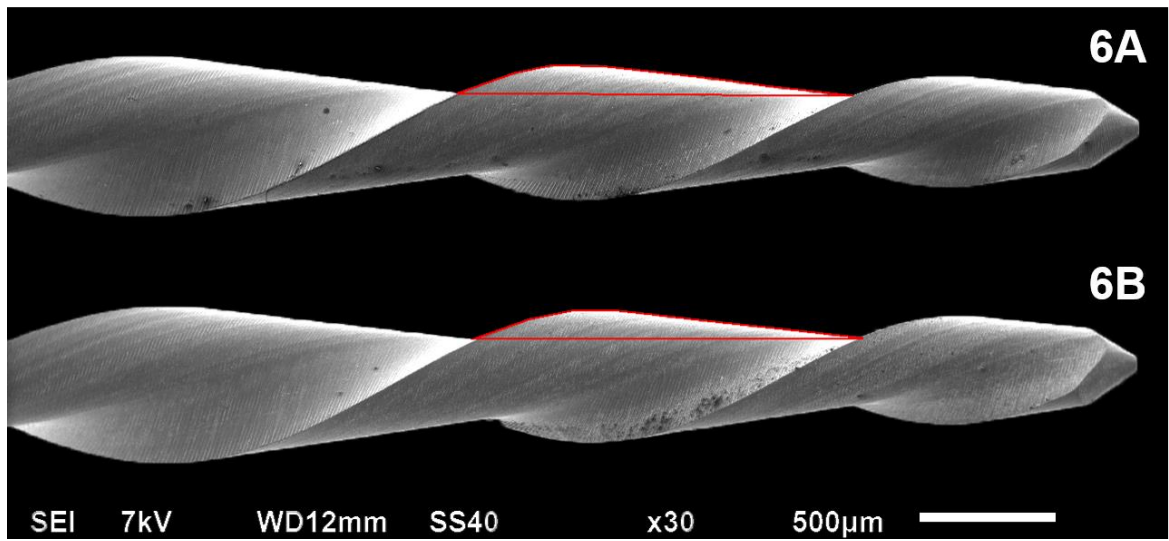


Figure 6. Reciproc® R40 flute area delimitation before (6A) and after (6B) simulated root canal shaping.

Table 3. Reciproc® R50 instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	124526.67	129549.07	0.382
Shank area	1264668.52	1250212.96	0.429
Diameter 0.5	415.00	412.21	0.900
Diameter 1.0	417.31	377.24	0.200
Diameter 1.5	392.82	428.37	0.137
Diameter 2.0	496.18	498.41	0.925
Diameter 2.5	509.41	467.73	0.276
Diameter 3.0	442.10	482.12	0.447
Diameter 3.5	493.34	492.15	0.975
Diameter 4.0	591.13	588.88	0.951
Flute length 1	1705.20	1720.67	0.534

Reciproc® R50 - n.50/.05 (VDW, Munich, Germany).

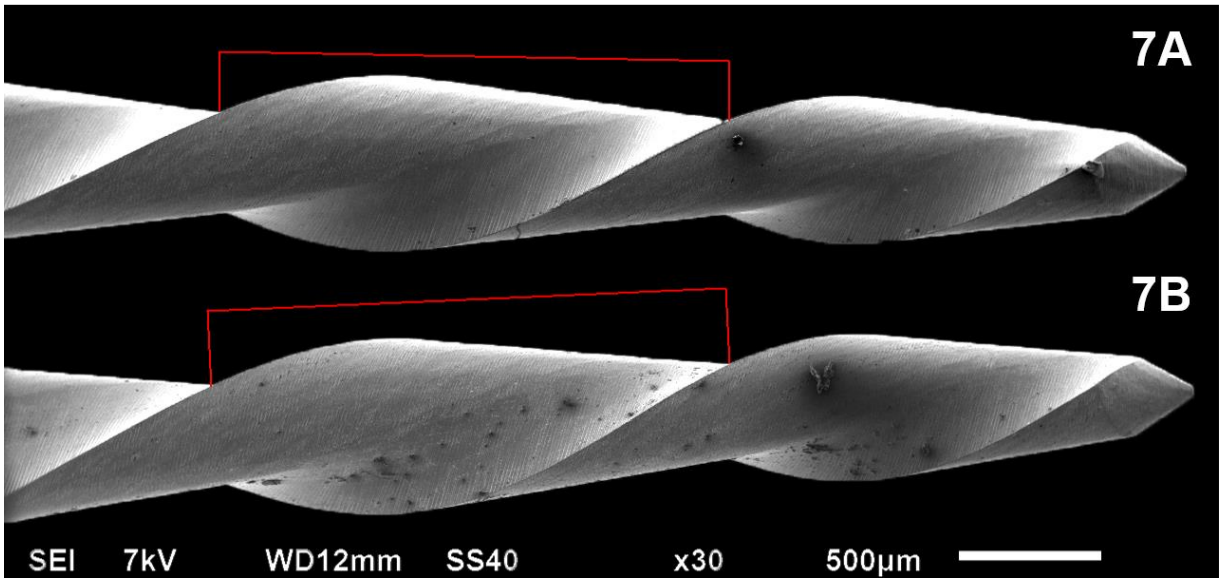


Figure 7. Reciproc® R50 flute length measurement, before (7A) and after (7B) simulated root canal shaping.

Table 4. Unicone® n.20 instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	6550.93	6400.00	0.856
Flute area 2	8386.11	8897.22	0.636
Flute area 3	13167.68	15320.37	0.449
Shank area	1091283.34	1093412.96	0.885
Diameter 0.5	252.18	238.28	0.599
Diameter 1.0	272.24	257.77	0.438
Diameter 1.5	290.01	280.03	0.017
Diameter 2.0	305.53	306.21	0.815
Diameter 2.5	315.08	318.98	0.442
Diameter 3.0	328.07	338.07	0.004
Diameter 3.5	353.27	351.07	0.329
Diameter 4.0	379.42	381.07	0.743
Flute length 1	707.37	750.19	0.231
Flute length 2	820.61	875.78	0.026
Flute length 3	905.01	1031.24	0.008

Unicone® n.20/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, Czech Republic).

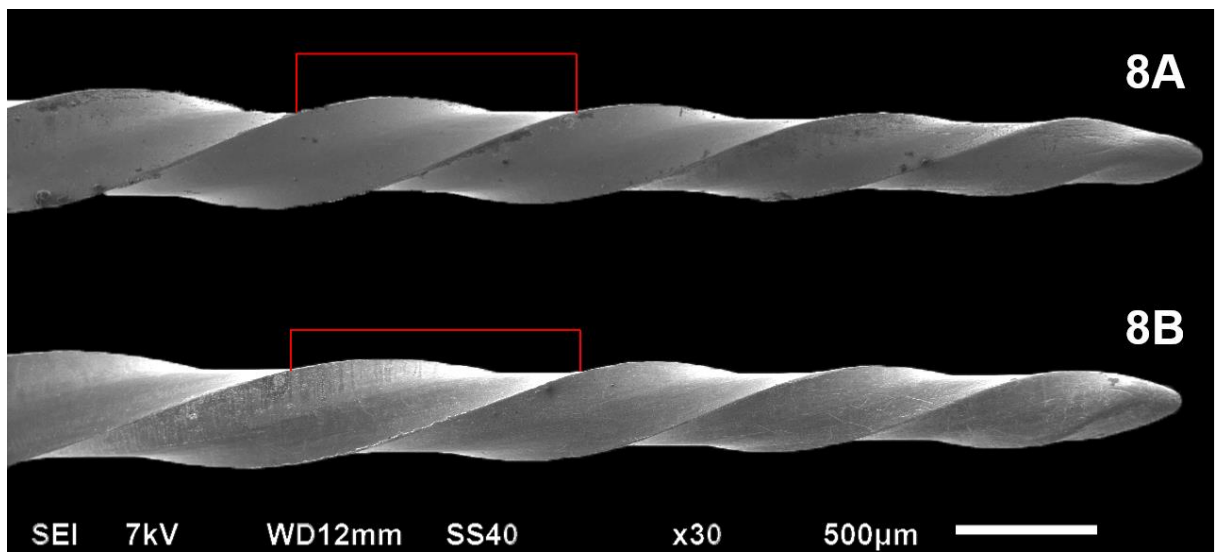


Figure 8. Unicone® n.20 flute length measurement, before (8A) and after (8B) simulated root canal shaping. The measurement shows plastic deformation in the instrument.

Table 5. Unicone® n.25 instruments dimensions (μm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	17780.56	19802.78	0.077
Flute area 2	26574.08	30200.00	0.313
Shank area	1102911.11	1086040.74	0.034
Diameter 0.5	268.80	272.80	0.082
Diameter 1.0	291.76	287.32	0.327
Diameter 1.5	301.12	303.90	0.516
Diameter 2.0	320.53	319.42	0.751
Diameter 2.5	348.47	351.25	0.496
Diameter 3.0	369.19	370.85	0.460
Diameter 3.5	397.25	394.50	0.385
Diameter 4.0	423.88	425.55	0.489
Flute length 1	938.98	925.89	0.676
Flute length 2	1098.74	1094.84	0.927

Unicone® n.25/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, Czech Republic).

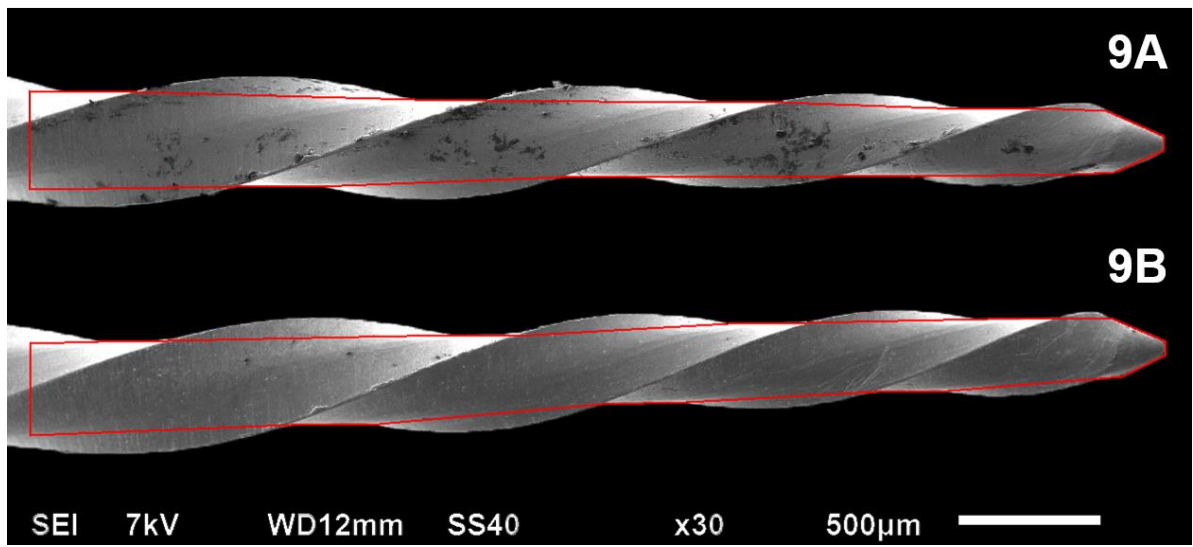


Figure 9. Unicore® n.25 shank area delimitation, before (9A) and after (9B) simulated root canal shaping.

Table 6. Unicone® n.40 instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	73115,74	99125,93	0,132
Shank area	1386538,89	1376334,26	0,411
Diameter 0.5	356,64	354,99	0,522
Diameter 1.0	396,14	392,83	0,538
Diameter 1.5	417,85	418,97	0,636
Diameter 2.0	450,46	439,90	0,067
Diameter 2.5	463,51	461,30	0,644
Diameter 3.0	490,51	485,74	0,603
Diameter 3.5	515,60	516,72	0,678
Diameter 4.0	541,97	523,86	0,362
Flute length 1	1646,23	1959,14	0,123

Unicone® n.40/.06 (Medin, Nové Město na Moravě, Czech Republic)

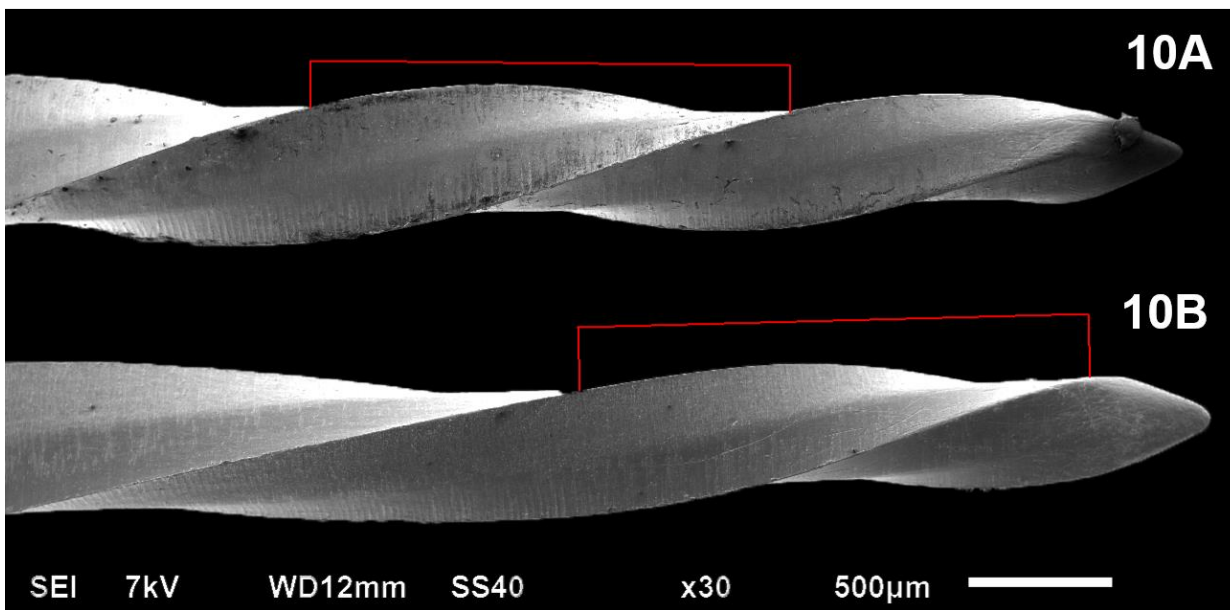


Figure 10. Unicone® n.40 flute length measurement, before (10A) and after (10B) simulated root canal shaping. Figure 10B allowed the measurement of the closer flute due to plastic deformation after root canal shaping.

Table 7. WaveOne® Small instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	11406,48	10976,77	0,565
Flute area 2	14763,89	14797,22	0,951
Flute area 3	18650,93	19164,81	0,616
Flute area 4	25260,19	25415,74	0,895
Shank area	921743,52	915994,45	0,425
Diameter 0.5	223,76	228,78	0,349
Diameter 1.0	245,54	239,98	0,266
Diameter 1.5	246,68	243,35	0,403
Diameter 2.0	269,75	270,32	0,790
Diameter 2.5	302,32	300,12	0,606
Diameter 3.0	328,30	324,42	0,202
Diameter 3.5	340,65	344,00	0,522
Diameter 4.0	383,28	379,93	0,312
Flute length 1	585,02	546,78	0,003
Flute length 2	686,44	683,05	0,742
Flute length 3	819,21	798,88	0,063
Flute length 4	905,17	881,96	0,034

WaveOne® Small - n.20/.06 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland).

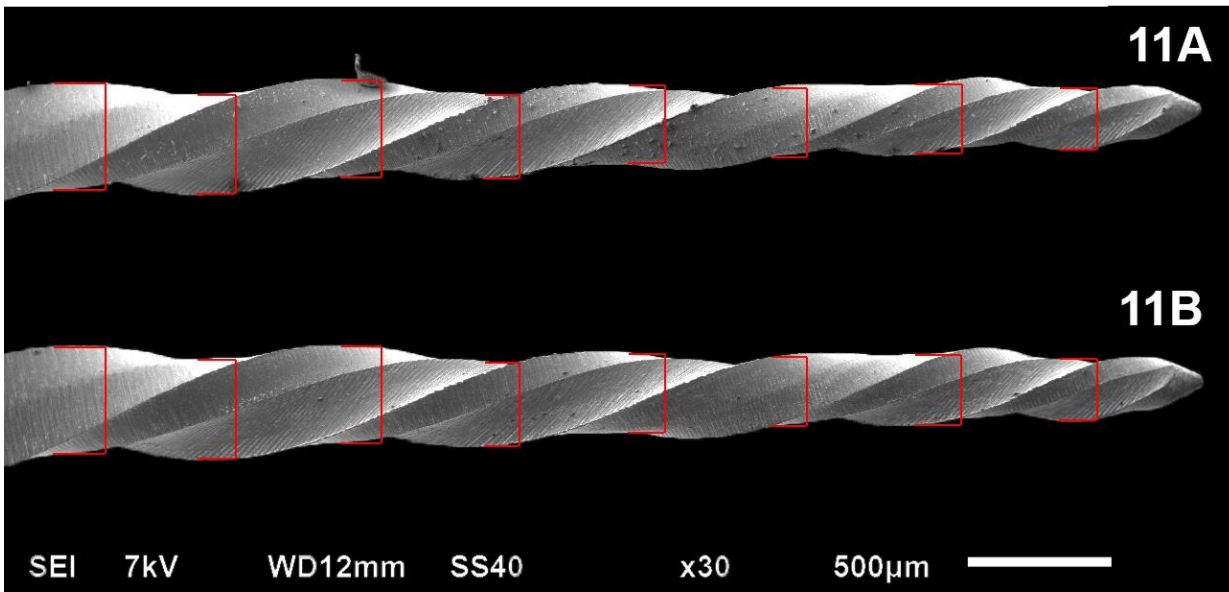


Figure 11. WaveOne® Small transversal diameter measurement each 0.5mm from the tip, before (11A) and after (11B) simulated root canal shaping.

Table 8. WaveOne® Primary instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	11400,00	10145,37	0,209
Flute area 2	16420,37	16930,56	0,715
Flute area 3	25245,37	25437,04	0,883
Shank area	1259451,85	1264200,00	0,583
Diameter 0.5	263,81	266,02	0,612
Diameter 1.0	287,80	284,46	0,592
Diameter 1.5	329,50	328,37	0,858
Diameter 2.0	363,66	366,43	0,769
Diameter 2.5	391,75	391,74	1,000
Diameter 3.0	413,81	418,27	0,525
Diameter 3.5	438,80	437,69	0,867
Diameter 4.0	453,31	451,62	0,829
Flute length 1	725,87	742,89	0,681
Flute length 2	890,55	895,26	0,624
Flute length 3	1075,96	1066,20	0,654

WaveOne® Primary n.25/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland).

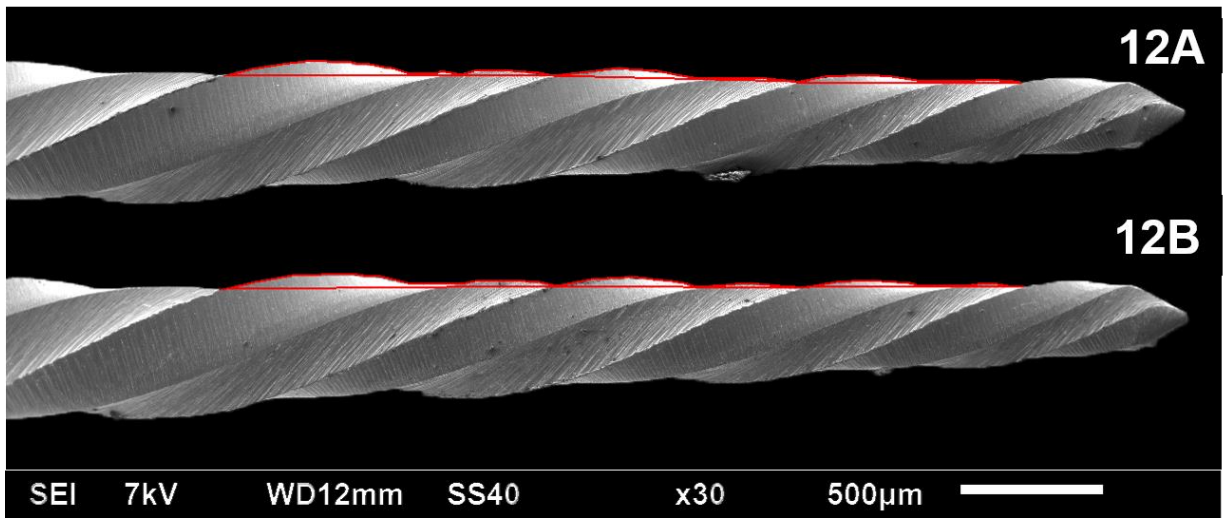


Figure 12. WaveOne® Primary flute área delimitation, before (12A) and after (12B) simulated root canal shaping.

Table 9. WaveOne® Large instruments dimensions (µm).

Variable	Mean before shaping	Mean after shaping	P
Flute area 1	43952,78	48920,37	0,331
Shank area	1490857,41	1511757,41	0,236
Diameter 0.5	355,45	370,44	0,060
Diameter 1.0	402,95	404,06	0,871
Diameter 1.5	426,18	431,73	0,515
Diameter 2.0	467,03	451,47	0,044
Diameter 2.5	489,47	486,80	0,363
Diameter 3.0	520,00	513,85	0,473
Diameter 3.5	542,78	543,34	0,921
Diameter 4.0	571,35	564,45	0,363
Flute length 1	1175,57	1756,72	0,234

WaveOne® Large n.40/.08 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland).

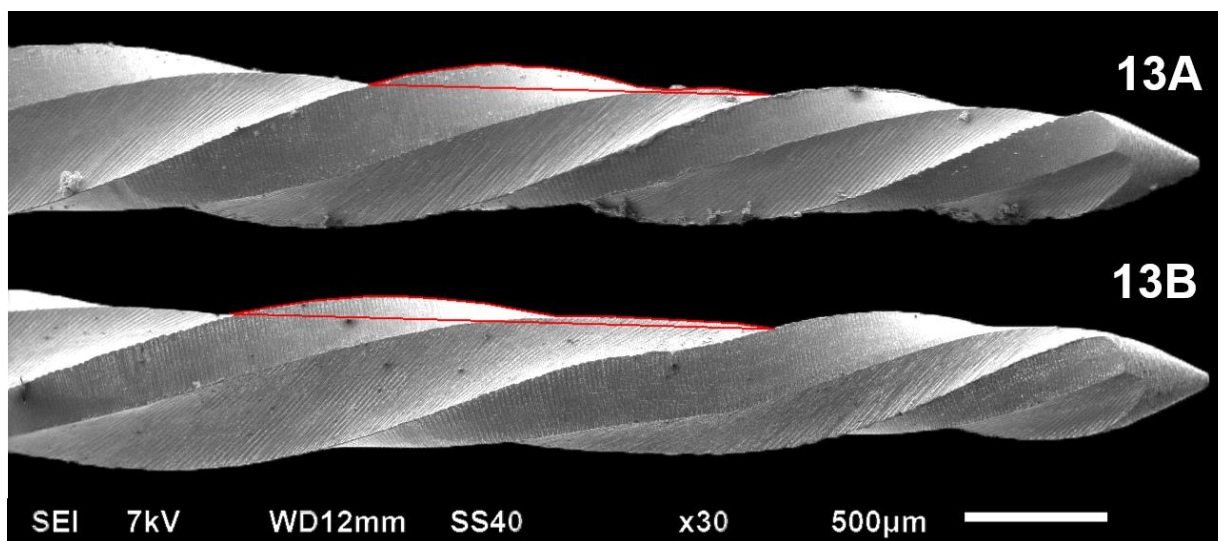


Figure 13. WaveOne® Large flue área delimitation, before (13A) and after (13B) simulated root canal shaping. The measurement shows plastic deformations in the instrument.

Table 10. Reciproc® R25, Unicone® n. 25 and WaveOne® Primary comparison before and after root canal shaping.

Variable	Reciproc® R25 before	Reciproc® R25 after	Unicone n.25 before	Unicone n.25 after	WaveOne Primary before	WaveOne Primary after
Flute area 1	34871,30 ^A	34498,15 ^A	17780,56 ^{BC}	19802,78 ^C	11400,00 ^{BD}	10145,37 ^D
Flute area 2	52392,59 ^A	52155,55 ^A	26574,08 ^{BC}	30200,00 ^C	16420,37 ^D	16930,56 ^{BD}
Shank area	976682,41 ^A	973281,48 ^A	1102911,11 ^B	1086040,74 ^B	1259451,85 ^C	1264200,00 ^C
Diameter 0.5mm	187,00 ^A	182,52 ^A	268,80 ^B	272,80 ^B	263,81 ^B	266,02 ^B
Diameter 1.0mm	299,51 ^A	294,53 ^A	291,76 ^A	287,32 ^A	287,80 ^A	284,46 ^A
Diameter 1.5mm	247,18 ^A	254,41 ^A	301,12 ^B	303,90 ^B	329,50 ^C	328,37 ^C
Diameter 2.0mm	357,28 ^A	333,66 ^A	320,53 ^B	319,42 ^B	363,66 ^A	366,43 ^A
Diameter 2.5mm	365,02 ^A	374,43 ^A	348,47 ^A	351,25 ^A	391,75 ^A	391,74 ^A
Diameter 3.0mm	365,31 ^A	364,57 ^A	369,19 ^A	370,85 ^A	413,81 ^B	418,27 ^B
Diameter 3.5mm	483,86 ^A	473,77 ^A	397,25 ^B	394,50 ^B	438,80 ^C	437,69 ^C
Diameter 4.0mm	401,23 ^A	419,02 ^A	423,88 ^A	425,55 ^A	453,31 ^A	451,62 ^A
Flute length 1	1059,89 ^A	1048,20 ^A	938,98 ^B	925,89 ^B	725,87 ^C	742,89 ^C
Flute length 2	1242,84 ^A	1226,44 ^A	1098,74 ^B	1094,84 ^B	890,55 ^C	895,26 ^C

Table 11. Reciproc® R40, Unicone® n. 40 and WaveOne® Large comparison before and after root canal shaping.

Variável	Reciproc® R40 before	Reciproc® R40 after	Unicone® n.40 before	Unicone® n.40 after	WaveOne® Large before	WaveOne® Large after
Flute area 1	76051,85 ^{AB}	81265,74 ^B	73115,74 ^{ABC}	99125,93 ^B	43952,78 ^C	48920,37 ^{AC}
Shank area	1111100,00 ^A	1108128,70 ^A	1386538,89 ^B	1376334,26 ^B	1490857,41 ^C	1511757,41 ^C
Diameter 0.5mm	288,12 ^A	355,35 ^B	356,64 ^B	354,99 ^B	355,45 ^B	370,44 ^B
Diameter 1.0mm	369,05 ^B	321,80 ^B	396,14 ^A	392,83 ^A	402,95 ^A	404,06 ^A
Diameter 1.5mm	380,57 ^A	384,95 ^A	417,85 ^A	418,97 ^A	426,18 ^A	431,73 ^A
Diameter 2.0mm	395,66 ^A	443,41 ^{AB}	450,46 ^{AB}	439,90 ^{AB}	467,03 ^B	451,47 ^{AB}
Diameter 2.5mm	445,95 ^A	378,76 ^A	463,51 ^A	461,30 ^A	489,47 ^A	486,80 ^A
Diameter 3.0mm	442,44 ^A	444,16 ^A	490,51 ^{AB}	485,74 ^{AB}	520,00 ^B	513,85 ^B
Diameter 3.5mm	425,39 ^A	517,03 ^B	515,60 ^B	516,72 ^B	542,78 ^B	543,34 ^B
Diameter 4.0mm	516,69 ^A	502,79 ^A	541,97 ^A	523,86 ^A	571,35 ^A	564,45 ^A
Flute length 1	1368,57 ^{AB}	1395,60 ^{AB}	1646,23 ^{BC}	1959,14 ^C	1175,57 ^A	1756,72 ^{AB}

Discussion

The available reciprocating instruments have different properties – diameter, taper and transversal section. These variations may result in different resistance and mechanical behavior. The present study analyzed three instruments of each system (Reciproc[®], WaveOne[®] and Unicone[®]) of different sizes.

Reciproc[®] instruments had larger flutes and higher flute/shank ratio, while WaveOne[®] instruments lower flute/shank ratio. Reciproc[®] instruments had not structural plastic deformations identifiable at SEM images considered the three analyzed sizes. However, some dimensions showed variation after root canal shaping.

Schafer & Tepel (2001) reported instruments manufactured by abrasion had higher resistance to fracture as lower the number of flutes in the active part. Moreover, a higher flute area could represent a structural reinforcement at this site (BIZ & FIGUEIREDO, 2004).

Fracture resistance evaluation of Reciproc[®] R40 and WaveOne[®] Large showed Reciproc[®] instrument had higher resistance to cyclic fatigue (KIM *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2014). Cyclic fatigue evaluation of Reciproc[®] R25 and WaveOne[®] Primary indicated worse result of WaveOne[®] instruments (HIGUERA *et al.*, 2015). The results of the present study were similar to those studies, as WaveOne[®] instruments had higher dimensional alterations after use and two of three Large instruments had plastic deformations.

The results of the present study and the scientific knowledge of previous studies about endodontic instruments structural analysis (SCHAFER & TEPEL, 2001; BIZ & FIGUEIREDO, 2004) suggests Reciproc[®] instruments could present higher cyclic fatigue resistance due to the larger area and length of the flutes,

and lower shank. The higher shank of WaveOne® instrument could lead to higher resistance to torsional fracture. These results could influence the reciprocating instrument selection for each root canal feature. Reciproc® instrument should be more indicated for a highly curved root canal, while WaveOne® should be more indicated for thin and straight root canals.

However, the proper endodontic instrument selection should consider other characteristics. Several features alter the resistance properties of an instrument and are related to clinical aspects – root canal morphology and operator experience – instrument transversal section and the conducted kinematics (HÜLSMANN *et al.*, 2005; CHEUNG, 2009; MCGUIGAN *et al.*, 2013).

Reciproc® instrument has S-shaped transversal section, WaveOne® has triangular-shaped transversal section with concavities near the flute, and Unicone® presents a triangular-shaped transversal section with convex helical canals. Schafer & Tepel (2001) evaluated the resistance to fracture of rotary endodontic instruments submitted to angular deflection, and instruments of triangular-shaped transversal section had higher resistance to torsional fracture related to S-shaped instruments.

Studies demonstrated nickel-titanium instruments of reciprocating motion had higher resistance to fracture (DE-DEUS *et al.*, 2010; WAN *et al.*, 2011; GAVINI *et al.*, 2012; PEDULLA *et al.*, 2013). But fracture can naturally occur even using the instrument only once and replacing the instrument at any sign of plastic deformation (CUNHA *et al.*, 2014; PLOTINO *et al.*, 2014).

The root canal must be expanded within anatomical limits, regardless of the instrument properties or applied technique. The root canal apical third of permanent teeth have maximum diameter of pre-molars at 1mm from the apex

of 0.18-0.37mm, and molars of 0.19-0.45mm (WU *et al.*, 2000). Ran *et al.* (2015) evaluated the penetration of *Enterococcus faecalis* in dentinal tubules of single-root teeth prepared to n.30 instruments in different conditions. The microorganisms penetrated 435µm into the dentine of the apical third, 322µm even at low-alkalyne pressure (pH=9.0) and penetrated 100µm at pH 10. The anatomical and microbiological features allow to orientate the minimal enlargement of apical third with instruments of higher diameter than the manufacturer's specification for reciprocating instruments – $D_0=0.25\text{mm}$.

The present study showed all the instruments had dimensional changes after preparation of a root canal of $D_0=0.18\text{mm}$, even if statistically insignificant. The instruments were used in curved root canals of the same D_0 (0.18mm) to verify and understand the dimensional alterations of these instruments after root canal shaping. We chose the instruments region closer to the tip (4mm) as it is where most fractures happen. Cunha *et al.* (2014) showed fractures of all WaveOne® instruments happened close to the tip.

He simulated root canals allowed to standardize the root canal diameter along its entire length. The results of this study showed similarity to previously published studies, despite limitations of simulated root canals (SCHAFER & TEPEL, 2001; KIM *et al.*, 2012; PLOTINO *et al.*, 2012; DE-DEUS *et al.*, 2014; HA *et al.*, 2015; HIGUERA *et al.*, 2015).

The method used in this study proved complementary in detecting plastic deformations of endodontic instruments. Some plastic deformations were not detected by measuring the dimensions due to the position of external surface, but were visible by the SEM magnification. This resulted in an area or linear value close to the assessed before root canal shaping. On the other hand,

measurements were useful to detect morphological alterations less evident to the eye.

AxioVision® software was used in a previous study (MACHADO *et al.*, 2013) and allowed external delimitation of areas with accuracy. The 30X magnification was effective for accurate measurements and to visualize instruments plastic deformations. Biz & Figueiredo (2004) proved 60X magnification was accurate for measurements of abraded surfaces of flute and shank and this method was effective to achieve shank-to-flute ratio at the flute site. The 30X magnification allowed to measure the studied morphological structures present in the first 4mm from the tip.

Instruments structural analysis should be well studied, as it may directly influence mechanical behavior during preparation of the complex root canal system. The studied characteristics showed Reciproc® should have higher flexibility, with higher cyclic fatigue resistance. WaveOne® should have lower flexibility and higher shank resistance, with higher resistance to torsional fracture.

New studies are required to understand the mechanical behavior of reciprocating instruments and how the design and dimensions of these instruments may influence its properties when functioning.

Conclusion

The employed method allowed to conclude Reciproc® instruments had higher area length of the flutes and lower shank compared to Unicone® and WaveOne® instruments of similar sizes. Unicone® instruments higher number of plastic deformations at SEM images. Higher dimensions of flute and lower dimensions of the shank had lower plastic deformations after root canal shaping.

References

ARIAS, A.;LEE, Y. H.;PETERS, C. I.;GLUSKIN, A. H.;PETERS, O. A. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 982-5, Jul 2014.

BIZ, M. T.; FIGUEIREDO, J. A. Morphometric analysis of shank-to-flute ratio in rotary nickel-titanium files. **Int Endod J**, v. 37, n. 6, p. 353-8, Jun 2004.

BURKLEIN, S.;TSOTSIS, P.;SCHAFER, E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. **J Endod**, v. 39, n. 4, p. 501-4, Apr 2013.

CHEUNG, G. S. P. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. **ETP Endodontic Topics**, v. 16, n. 1, p. 1-26, 2009.

CUNHA, R. S.;JUNAID, A.;ENSINAS, P.;NUDERA, W.;BUENO, C. E. Assessment of the separation incidence of reciprocating WaveOne files: a prospective clinical study. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 922-4, Jul 2014.

DE-DEUS, G.;ARRUDA, T. E.;SOUZA, E. M.;NEVES, A.;MAGALHAES, K.;THUANNE, E.;FIDEL, R. A. The ability of the Reciproc R25 instrument to reach the full root canal working length without a glide path. **Int Endod J**, v. 46, n. 10, p. 993-8, Oct 2013.

DE-DEUS, G.;LEAL VIEIRA, V. T.;NOGUEIRA DA SILVA, E. J.;LOPES, H.;ELIAS, C. N.;MOREIRA, E. J. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne *Large* instruments. **J Endod**, v. 40, n. 4, p. 575-9, Apr 2014.

DE-DEUS, G.;MOREIRA, E. J.;LOPES, H. P.;ELIAS, C. N. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. **Int Endod J**, v. 43, n. 12, p. 1063-8, Dec 2010.

ESTRELA, C.;HOLLAND, R.;ESTRELA, C. R.;ALENCAR, A. H.;SOUSA-NETO, M. D.;PECORA, J. D. Characterization of successful root canal treatment. **Braz Dent J**, v. 25, n. 1, p. 3-11, Jan-Feb 2014.

FRANK, A. L. An evaluation of the Giromatic endodontic handpiece. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 24, n. 3, p. 419-21, Sep 1967.

GAVINI, G.;CALDEIRA, C. L.;AKISUE, E.;CANDEIRO, G. T.;KAWAKAMI, D. A. Resistance to flexural fatigue of Reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. **J Endod**, v. 38, n. 5, p. 684-7, May 2012.

HA, J. H.;KIM, S. R.;VERSLUIS, A.;CHEUNG, G. S.;KIM, J. W.;KIM, H. C. Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 41, n. 5, p. 715-9, May 2015.

HAAPASALO, M.; SHEN, Y. Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. **ETP Endodontic Topics**, v. 29, n. 1, p. 3-17, 2013.

HIGUERA, O.;PLOTINO, G.;TOCCI, L.;CARRILLO, G.;GAMBARINI, G.;JARAMILLO, D. E. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 6, p. 913-5, 2015.

HÜLSMANN, M.;PETERS, O. A.;DUMMER, P. M. H. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. **Endodontic Topics**, v. 10, n. 1, p. 30-76, 2005.

JAMLEH, A.;KOMABAYASHI, T.;EBIHARA, A.;NASSAR, M.;WATANABE, S.;YOSHIOKA, T.;MIYARA, K.;SUDA, H. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. **Int Endod J**, v. 48, n. 12, p. 1103-11, Dec 2015.

JIN, S. Y.;LEE, W.;KANG, M. K.;HUR, B.;KIM, H. C. Single file reciprocating technique using conventional nickel-titanium rotary endodontic files. **Scanning**, v. 35, n. 6, p. 349-54, Nov-Dec 2013.

KARATAS, E.;GUNDUZ, H. A.;KIRICI, D. O.;ARSLAN, H.;TOPCU, M. C.;YETER, K. Y. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. **J Endod**, v. 41, n. 2, p. 261-4, Feb 2015.

KIEFNER, P.;BAN, M.;DE-DEUS, G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? **Int Endod J**, v. 47, n. 5, p. 430-6, May 2014.

KIM, H. C.;KWAK, S. W.;CHEUNG, G. S.;KO, D. H.;CHUNG, S. M.;LEE, W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. **J Endod**, v. 38, n. 4, p. 541-4, Apr 2012.

LIU, S. B.;FAN, B.;CHEUNG, G. S.;PENG, B.;FAN, M. W.;GUTMANN, J. L.;SONG, Y. L.;FU, Q.;BIAN, Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-Flexofile. **Am J Dent**, v. 19, n. 6, p. 353-8, Dec 2006.

LOPES, H. P.;ELIAS, C. N.;AMARAL, G.;VIEIRA, V. T.;MOREIRA, E. J.;MANGELLI, M.;SIQUEIRA, J. F., JR. Torsional properties of pathfinding instruments. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 112, n. 5, p. 667-70, Nov 2011.

LOPES, H. P.;ELIAS, C. N.;ESTRELA, C.;SIQUEIRA, J. F., JR. Assessment of the apical transportation of root canals using the method of the curvature radius. **Braz Dent J**, v. 9, n. 1, p. 39-45, 1998.

LOPES, H. P.;ELIAS, C. N.;VIEIRA, M. V.;SIQUEIRA, J. F., JR.;MANGELLI, M.;LOPES, W. S.;VIEIRA, V. T.;ALVES, F. R.;OLIVEIRA, J. C.;SOARES, T. G. Fatigue Life of Reciproc and Mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. **J Endod**, v. 39, n. 5, p. 693-6, May 2013.

LOPES, H. P.;ELIAS, C. N.;VIEIRA, V. T.;MOREIRA, E. J.;MARQUES, R. V.;DE OLIVEIRA, J. C.;DEBELIAN, G.;SIQUEIRA, J. F., JR. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 36, n. 10, p. 1653-7, Oct 2010.

MACHADO, R.;SILVA NETO, U. X.;IGNACIO, S. A.;CUNHA, R. S. Lack of correlation between obturation limits and apical leakage. **Braz Oral Res**, v. 27, n. 4, p. 331-5, Jul-Aug 2013.

MCGUIGAN, M. B.;LOUCA, C.;DUNCAN, H. F. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. **Br Dent J**, v. 214, n. 7, p. 341-8, Apr 2013.

PEDULLA, E.;GRANDE, N. M.;PLOTINO, G.;GAMBARINI, G.;RAPISARDA, E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 258-61, Feb 2013.

PETERS, O. A.;BARBAKOW, F.;PETERS, C. I. An analysis of endodontic treatment with three nickel-titanium rotary root canal preparation techniques. **Int Endod J**, v. 37, n. 12, p. 849-59, Dec 2004.

PLOTINO, G.;GRANDE, N. M.;PORCIANI, P. F. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. **Int Endod J**, Apr 22 2014.

PLOTINO, G.;GRANDE, N. M.;TESTARELLI, L.;GAMBARINI, G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. **Int Endod J**, v. 45, n. 7, p. 614-8, Jul 2012.

RAN, S.;WANG, J.;JIANG, W.;ZHU, C.;LIANG, J. Assessment of dentinal tubule invasion capacity of *Enterococcus faecalis* under stress conditions ex vivo. **Int Endod J**, v. 48, n. 4, p. 362-72, Apr 2015.

SCHAFER, E.; TEPEL, J. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. **J Endod**, v. 27, n. 4, p. 299-303, Apr 2001.

SCHILDER, H. Cleaning and shaping the root canal. **Dent Clin North Am**, v. 18, n. 2, p. 269-96, Apr 1974.

SHEN, Y.;ZHOU, H. M.;ZHENG, Y. F.;PENG, B.;HAAPASALO, M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **J Endod**, v. 39, n. 2, p. 163-72, Feb 2013.

SHIN, C. S.;HUANG, Y. H.;CHI, C. W.;LIN, C. P. Fatigue life enhancement of NiTi rotary endodontic instruments by progressive reciprocating operation. **Int Endod J**, v. 47, n. 9, p. 882-8, Sep 2014.

SPYROPOULOS, S.;ELDEEB, M. E.;MESSER, H. H. The effect of Giromatic files on the preparation shape of severely curved canals. **Int Endod J**, v. 20, n. 3, p. 133-42, May 1987.

WALIA, H. M.;BRANTLEY, W. A.;GERSTEIN, H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **J Endod**, v. 14, n. 7, p. 346-51, Jul 1988.

WAN, J.;RASIMICK, B. J.;MUSIKANT, B. L.;DEUTSCH, A. S. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. **Aust Endod J**, v. 37, n. 3, p. 122-7, Dec 2011.

WANG, N. N.;GE, J. Y.;XIE, S. J.;CHEN, G.;ZHU, M. Analysis of Mtwo rotary instrument separation during endodontic therapy: a retrospective clinical study. **Cell Biochem Biophys**, v. 70, n. 2, p. 1091-5, Nov 2014.

WU, M. K.;R'ORIS, A.;BARKIS, D.;WESSELINK, P. R. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 89, n. 6, p. 739-43, Jun 2000.

YARED, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. **Int Endod J**, v. 41, n. 4, p. 339-44, Apr 2008.