



UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

Francisco Ferreira da Cruz

**Impacto do número de usos de diferentes instrumentos rotatórios
contínuos e reciprocantes na perda da eficiência de corte e nas
alterações dimensionais do preparo de canais radiculares**

Anápolis, 2025.

Francisco Ferreira da Cruz

Impacto do número de usos de diferentes instrumentos rotatórios contínuos e reciprocantes na perda de eficiência de corte e nas alterações dimensionais do preparo de canais radiculares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Odontologia. Área de concentração: Clínica Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Helder Fernandes de Oliveira.

Anápolis, 2025.

C957

Cruz, Francisco Ferreira da.

Impacto do número de usos de diferentes instrumentos rotatórios contínuos e reciprocantes na perda da eficiência de corte e nas alterações dimensionais do preparo de canais radiculares / Francisco Ferreira da Cruz - Anápolis: Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, 2025.

34 p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Helder Fernandes de Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Odontologia – Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, 2025.

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 1. Preparo de canal radicular | 2. Instrumentos odontológicos | 3. Tomografia |
| computadorizada de feixe cônico | | 4. Cinemática |
| I. Oliveira, Helder Fernandes de | | II. Título |

CDU 616.314

Catálogo na Fonte

Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038



FOLHA DE APROVAÇÃO

IMPACTO NÚMERO DE USOS DE DIFERENTES INSTRUMENTOS ROTATÓRIOS CONTÍNUOS E RECÍPROCANTES NA PERDA DA EFICIÊNCIA DE CORTE E NAS ALTERAÇÕES DIMENSIONAIS DO PREPARO DE CANAIS RADICULARES

Francisco Ferreira da Cruz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia - PPGO da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE.

Aprovado em 23 de setembro de 2025.

Linha de Pesquisa:

Técnicas, Materiais e Substâncias de Aplicação Clínica e Laboratorial em Odontologia

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 **HELDER FERNANDES DE OLIVEIRA**
Data: 24/09/2025 07:28:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.Dr. Helder Fernandes de Oliveira
Orientador / UniEVANGÉLICA

Documento assinado digitalmente
 **CYNTIA RODRIGUES DE ARAUJO ESTRELA**
Data: 24/09/2025 10:50:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa.Dra. Cyntia Rodrigues de Araújo Estrela
Examinadora Interna / UniEVANGÉLICA

Documento assinado digitalmente
 **MONICA MISAE ENDO**
Data: 24/09/2025 20:57:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Mônica Misaé Endo
Examinadora Externa / UniEVANGÉLICA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Maria Ferreira, por todo o amor e apoio incondicional que me deu ao longo da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A todos os que me apoiaram, incentivaram e acreditaram ao longo dessa caminhada, especialmente minha família e amigos.

A minha esposa Zileyde Arrais pela compreensão e incentivo em momentos de incertezas.

À Universidade Evangélica de Goiás por oportunizar meu crescimento científico.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Odontologia da UniEvangélica pelos valiosos ensinamentos.

Ao meu orientador Professor Dr. Helder Fernandes de Oliveira por todo apoio e paciência.

EPIGRAFE

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

_Schopenhauer.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	REVISÃO DE LITERATURA	10
3.	OBJETIVOS	15
3.1	Objetivo Geral	15
3.2	Objetivo Específicos	15
4.	METODOLOGIA	16
4.1	Tipo de pesquisa	16
4.2	Unidade experimental	16
4.3	Fatores estudados	16
4.4	Obtenção e seleção da amostra	16
4.5	Delineamento experimental	17
4.6	Análise do índice transporte e centralização do canal radicular	18
4.7	Aquisição da Imagens	19
4.8	Análise estatística dos resultados	21
5.	RESULTADOS	22
7.	DISCUSSÃO	26
8.	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NiTi – níquel-titanio

TCFC – tomografia computadorizada de feixe cônico

Micro-CT – microtomografia

IT – índice de transporte

CC – centralização do canal

PI – peso inicial

PF – peso final

TF - Twisted File

TFA - Twisted File adaptive

OC - One Curve

PP - Pathfile-ProTaper

G1 – grupo 1

G2 – grupo 2

G3 – grupo 3

G4 – grupo 4

M1 – mesial antes do preparo

M2 – mesial após o preparo

D1 – distal antes do preparo

D2 - distal após o preparo

MD – mesiodistal

VL – vestibulo-lingual

RESUMO

Objetivo: analisar o impacto do número de usos de diferentes instrumentos rotatórios contínuos e reciprocantes na perda da eficiência de corte e nas alterações dimensionais do preparo de canais radiculares. **Material e Métodos:** Quarenta molares inferiores prototipados foram distribuídos aleatoriamente em quatro grupos experimentais, conforme o sistema utilizado: G1. Trunatomy®; G2. Protaper Ultimate®; G3. Wave One Gold®; e G4. Reciproc Blue®. Antes da instrumentação, os dentes foram lavados, secos e pesados em balança analítica para obtenção do peso inicial (PI). Cada grupo realizou a instrumentação de dez molares utilizando o motor X-Smart Plus®, obedecendo às recomendações do fabricante. Os canais foram irrigados com água destilada e deionizada, padronizando-se o comprimento de trabalho em 1 mm aquém do ápice. Após a instrumentação, os dentes foram novamente lavados, secos e pesados, obtendo-se o peso final (PF). A eficiência de corte foi determinada pela diferença entre PI e PF. Os dados foram analisados pelos testes Kruskal-Wallis e Dwass-Steel-Critchlow-Fligner ($p < 0,05$). **Resultados:** os resultados mostraram diferenças significativas em PF ($p = 0,001$), na porcentagem de redução da eficiência de corte ($p = 0,004$) e na diferença entre os pesos ($p = 0,004$), com destaque para o G2 que apresentou menores valores de eficiência em comparação aos grupos reciprocantes (G3 e G4). Quanto às alterações dimensionais, não houve diferenças estatísticas no transporte (IT) nem na capacidade de centralização (CC) entre os grupos nas direções méso-distal (MD) e vestibulo-lingual (VL), embora os sistemas reciprocantes tenham apresentado maiores valores de CC. Nenhum grupo demonstrou centralização perfeita. **Conclusão:** O número de usos influenciou a eficiência de corte, com desempenho inferior observado no Protaper Ultimate®. Entretanto, não foram detectadas diferenças significativas na qualidade da modelagem do canal radicular entre os sistemas avaliados.

Palavras-chave: preparo de canal radicular, instrumentos odontológicos, tomografia computadorizada de feixe cônico, cinemática.

ABSTRACT

Objective: To analyze the impact of the number of uses of different continuous rotary and reciprocating instruments on cutting efficiency loss and dimensional changes in root canal preparation. **Materials and Methods:** Forty prototyped mandibular molars were randomly assigned to four experimental groups according to the system used: G1. Trunatomy®; G2. Protaper Ultimate®; G3. Wave One Gold®; and G4. Reciproc Blue®. Before instrumentation, the teeth were cleaned, dried, and weighed on an analytical balance to obtain the initial weight (IW). Each group instrumented ten molars using the X-Smart Plus® motor, following the manufacturer's recommendations. Canals were irrigated with distilled and deionized water, with the working length standardized at 1 mm short of the apex. After instrumentation, the teeth were again cleaned, dried, and weighed to obtain the final weight (FW). Cutting efficiency was calculated by the difference between IW and FW. Data were analyzed using Kruskal-Wallis and Dwass-Steel-Critchlow-Fligner tests ($p < 0.05$). **Results:** Significant differences were found in FW ($p = 0.001$), percentage reduction of cutting efficiency ($p = 0.004$), and weight difference ($p = 0.004$). G2 showed lower efficiency compared to the reciprocating systems (G3 and G4). Regarding dimensional changes, no significant differences were observed in canal transportation (CT) or centering ability (CA) among groups in mesiodistal (MD) and buccolingual (BL) directions, although reciprocating systems exhibited higher CA values. No group achieved perfect centering. **Conclusion:** The number of uses influenced cutting efficiency, with inferior performance observed for Protaper Ultimate®. However, no significant differences were detected in root canal shaping quality among the tested systems.

Keywords: root canal preparation, dental instruments, cone-beam computed tomography, kinematics.

1. INTRODUÇÃO

O preparo do canal radicular é etapa crucial no tratamento endodôntico, pois é responsável por remover tecido pulpar necrosado ou contaminado, microrganismos, e permitir a irrigação eficaz e selamento tridimensional do sistema de canais radiculares (1, 2). Uma modelagem inadequada compromete a eliminação bacteriana, favorece a persistência de infecção, pode induzir microfraturas, transporte apical ou alteração do perfil original do canal, comprometendo o prognóstico clínico a longo prazo (3).

A evolução dos instrumentos de níquel-titânio (NiTi) transformou profundamente a prática endodôntica. Desde os primeiros instrumentos rotatórios contínuos, com limitação quanto à resistência à fadiga, até o desenvolvimento de ligas especiais (como NiTi tratado por calor, CM-Wire, Gold, Blue) e designs diferenciados, a tecnologia progrediu também para movimentos reciprocantes ou híbridos (4-6). Estes avanços melhoram a flexibilidade, reduzem o risco de fraturas, permitem preparo mais rápido e potencialmente menos erros operatórios (7).

A eficiência de corte é um parâmetro central de desempenho destes instrumentos. Ela reflete a capacidade de remover dentina com mínima perda de controle, menos desgaste, e manutenção da geometria proposta (7-10). Estudos demonstram que instrumentos NiTi perdem eficiência de corte com o uso repetido. Instrumentos submetidos a múltiplos ciclos de esterilização mostraram redução significativa na eficiência de penetração ou corte em ensaios mecânicos comparados ao controle (11, 12).

A perda de área instrumentada após usos repetidos em sistemas de cinemática recíproca como WaveOne Gold e Reciproc Blue, sinaliza que o desgaste do instrumento pode influenciar na qualidade do preparo dos canais radiculares (6, 8, 13).

Além disso, alterações dimensionais como transporte do canal e descentralização já foram observadas quando instrumentos desgastados ou com geometria comprometida foram utilizados em canais curvos (1, 14-16). Para avaliar com rigor essas perdas de eficiência e alterações dimensionais, a tomografia computadorizada, especialmente a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) e microtomografia (micro-CT), tem se mostrado ferramenta essencial (17,

18). Esses métodos permitem visualização tridimensional, mensuração volumétrica de dentina removida, avaliação de transporte, centralização, curvatura remanescente, espessura de parede de dentina, entre outros parâmetros. Diante deste panorama, este estudo teve por objetivo analisar o impacto do número de usos de diferentes instrumentos rotatórios contínuos e reciprocantes na perda da eficiência de corte e nas alterações dimensionais do preparo de canais radiculares.

A hipótese nula foi de que o uso repetitivo dos instrumentos NiTi não afetaria significativamente a eficiência de corte, e não promoveria alterações dimensionais no preparo de canais radiculares após o uso, independentemente da cinemática de movimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Um dos desafios que a endodontia enfrenta é a resistência dos instrumentos relacionados aos esforços a que estes sofrem no momento do preparo do canal radicular. Os instrumentos mecanizados de Níquel-titânio (NiTi) são na atualidade uma realidade, complementando a terapia endodôntica, pois oferecem uma série de vantagens sobre os instrumentos de aço inoxidável como a excelente flexibilidade, elasticidade superior e poder de corte (2).

Evolução dos instrumentos de níquel-titânio

A evolução dos sistemas de instrumentação endodôntica tem desempenhado um papel crucial na melhoria da previsibilidade dos tratamentos. O desenvolvimento dos instrumentos de níquel-titânio (NiTi) trouxe avanços significativos na capacidade de conformação dos canais radiculares, permitindo maior flexibilidade, segurança e redução do risco de desvios apicais e fraturas de instrumentos (17). WALIA e colaboradores, em 1988, propuseram a utilização da liga de Níquel-Titânio (NiTi) na fabricação das limas endodônticas, resultando em instrumentos com grande flexibilidade, maior eficácia de corte, memória elástica, baixo módulo de elasticidade, maior manutenção da trajetória dos canais radiculares, sendo compostas de 56% de níquel e 44% de titânio (19). Esses instrumentos tanto os manuais, quanto de movimentos rotatórios e reciprocantes geraram grandes vantagens clínicas.

No entanto, o uso repetitivo desses instrumentos pode impactar diretamente a perda de massa, a capacidade de corte e os índices de transporte e centralização do preparo em canais radiculares, especialmente em dentes com anatomia complexa, como os molares

Os primeiros instrumentos endodônticos eram fabricados em aço inoxidável, o que limitava a capacidade de adaptação às curvaturas radiculares e aumentava o risco de criação de degraus e perfurações (3, 10). Na década de 1990, a introdução dos instrumentos de NiTi revolucionou a instrumentação mecanizada, devido à sua maior flexibilidade e memória de forma. Estudos avaliaram o estado da arte a respeito de instrumentos de ligas de níquel-titânio em endodontia

observaram que os avanços tecnológicos nos últimos anos permitiram um salto de qualidade na terapia endodôntica e que a introdução de ligas de níquel-titânio e a automação da instrumentação endodôntica puseram a terapia endodôntica em outro patamar de qualidade (2, 17, 20).

Estudos demonstraram que os sistemas de NiTi apresentam melhor capacidade de manter a anatomia original dos canais, minimizando o transporte e promovendo maior centralização (13, 15, 16).

Impacto do Uso Repetitivo na Perda de Massa e Eficiência de Corte

Um atributo importante de um instrumento endodôntico é a eficiência de corte, avaliada com alterações na espessura da dentina removida e no volume do canal radicular, após a instrumentação (12). Essa propriedade é de fundamental importância para garantir o avanço do instrumento no interior do canal radicular sem pressão e/ou força excessiva.

Gambarini et al. ((21), compararam a eficiência de corte de instrumentos Twisted File(TF) usados em rotação contínua ou movimento TF Adaptive e avaliaram se o uso prolongado afetava significativamente sua capacidade de corte, neste estudo foram utilizados 20 novos instrumentos de NiTi TF de ponta 35 e conicidade 0,06 divididos em 2 subgrupos de 10 instrumentos cada, de tal forma que o Grupo 1, foram os instrumentos TF acionados utilizando o programa TF rotação contínua a 500 rpm e torque ajustado em 2 N e o Grupo 2, os instrumentos TF que foram ativados usando o movimento alternativo TF Adaptive (TFA). Ao fim do estudo comparativo chegou-se à conclusão de que o movimento TFA apresentou capacidade de corte lateral semelhante à rotação contínua e que independentemente do movimento utilizado, todos os instrumentos testados exibiram a mesma capacidade de corte após uso prolongado.

Já no estudo de Cecchin et al (11), avaliando a eficiência de corte medida pela perda de massa após instrumentação de canais simulados em blocos de resina acrílica pela técnica Crown-down dos instrumentos rotatórios de níquel-titânio (NiTi) K3, NiTi Tee, Profile e Quantec, de tamanhos 25/04. Nesse estudo foram utilizadas 40 limas, divididos em grupos de 10 limas de cada tipo e a eficiência de corte medida a partir da perda de massa dos blocos de acrílico, pesados em balança de precisão antes e após a instrumentação. Obtendo assim os seguintes resultados:

os blocos de acrílico instrumentados com as limas K3, NiTi Tee e Profile apresentaram maior perda de massa sendo assim melhor eficiência de corte que os instrumentos Quantec.

Plotino et al (9), avaliaram a eficiência de corte de 2 instrumentos de movimento reciprocante, a lima Reciproc e a lima WaveOne. De um total de 48 limas novas utilizadas para o estudo, 24 foram do tipo Reciproc R25 e 24 limas WaveOne, acionadas a partir de um motor elétrico Reciproc Silver subdivididas em 4 grupos da seguinte forma: Grupo 1, 12 limas Reciproc ativada pelo programa Reciproc ALL; grupo 2, 12 limas Reciproc ativada pelo programa WaveOne ALL; grupo 3, 12 limas WaveOne ativada pelo programa Reciproc ALL; e grupo 4, 12 limas WaveOne ativada pelo programa WaveOne ALL. Os grupos foram testados em placas de plexiglas simulando a dentina. A partir da análise dos dados chegou-se às seguintes conclusões: Não houve diferença significativa entre os 2 movimentos para ambos os instrumentos. Porém os instrumentos Reciproc demonstraram eficiência de corte estatisticamente maior do que WaveOne.

Em um recente trabalho Pedulla et al (22), fizeram uma comparação da eficiência de corte da lima F6 Sky Taper (F6ST) e One Curve (OC) com cinemáticas e inclinações de corte diferentes, neste estudo foram utilizados 80 novos instrumentos F6ST e OC, testados nas inclinações de 90° e 70° em relação à amostra de gesso padronizadas simulando canais radiculares, em rotação contínua e reciprocante, mostrando como resultado que a lima F6ST apresentou eficiência de corte significativamente maior em movimento reciprocante, e a OC em rotação contínua. Apesar da inclinação, o F6ST foi superior ao OC em movimento reciprocante, enquanto o OC apresentou uma capacidade de corte maior em rotação contínua. O estudo mostrou ainda que a inclinação de 70° melhorou sobremaneira a eficiência de corte de ambas as limas. No que se refere a cinemática dos movimentos o reciprocante melhorou a eficiência de corte da lima F6ST enquanto a rotação contínua melhorou a capacidade de corte da lima OC. Instrumentos de movimento reciprocante têm maior eficiência de corte em comparação com aqueles em rotação contínua, eficiência essa medida pela perda de gesso durante a instrumentação (7).

A perda de massa dos instrumentos de NiTi também é um fator crítico que afeta diretamente sua eficiência clínica. Com o uso repetitivo, ocorrem alterações

na topografia superficial, redução do poder de corte e aumento da resistência ao avanço no canal (6, 17, 21). A avaliação por microscopia eletrônica de varredura revelou que após três a cinco utilizações, os instrumentos apresentam sinais de fadiga, reduzindo sua capacidade de remoção eficiente de dentina. Sistemas termicamente tratados apresentam menor perda de massa e melhor preservação do fio de corte quando comparados aos sistemas convencionais (23, 24).

Influência do Uso Progressivo no Transporte e Centralização

O transporte do canal radicular ocorre quando há remoção assimétrica de dentina, resultando na alteração da trajetória original do canal (14-16, 20). Estudos baseados em microtomografia computadorizada evidenciam que o aumento no número de utilizações pode impactar negativamente a centralização dos instrumentos, especialmente em canais curvos e atresiadados (21). Sistemas de movimento recíprocante tendem a exibir maior resistência ao transporte em comparação aos sistemas rotatórios contínuos, devido à sua capacidade de dissipar melhor as tensões mecânicas(25).

Gergi et al (26) em seu estudo comparou o transporte do canal e a capacidade de centralização de dois sistemas rotatórios de níquel-titânio (NiTi) (Twisted Files (TF) e Pathfile-ProTaper([PP) com limas K convencionais de aço inoxidável utilizando noventa canais radiculares divididos aleatoriamente em três grupos de 30 cada e avaliando a quantidade de transporte e a capacidade de centralização após o preparo como os três sistemas através da aquisição de imagens de tomografia computadorizada, nas porções apical, médio-radicular e coronal do canal radicular, onde chegou-se ao resultado do menor transporte e melhor capacidade de centralização ocorreram com os instrumentos rotatórios de níquel-titânio Twisted Files.

Outro ponto de destaque é a avaliação dos efeitos do uso repetitivo nos sistemas de NiTi, ponto esse fundamental para determinar a segurança e eficiência dos procedimentos endodônticos (2). A perda de massa, a redução da capacidade de corte e as alterações nos índices de transporte e centralização reforçam a necessidade de protocolos de descarte adequados para garantir tratamentos previsíveis e com menores riscos de complicações (7-9, 11, 12, 21). O avanço na

formulação de ligas e novos desenhos de instrumentos pode contribuir para a maior longevidade e segurança dos sistemas endodônticos no futuro(1).

O uso de dentes artificiais em pesquisa não há diferença com os humanos, segundo Decurcio et al (27), em uma pesquisa de comparação laboratorial de dentes extraídos e dentes prototipados, esse obteve um melhor resultado por ter uma padronização pré-estabelecida de fábrica, e concluindo resultados mais fidedignos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

✓ Analisar do impacto do número de usos de diferentes instrumentos rotatórios contínuos e reciprocantes na perda da eficiência de corte e nas alterações dimensionais do preparo de canais radiculares.

3.2. Objetivos específicos

✓ Quantificar a perda de capacidade de corte dos diferentes sistemas de NiTi (Trunatomy®, Protaper Ultimate®, Wave One Gold® e Reciproc Blue®) nos molares prototipados após instrumentação pelas diferenças entre PI (peso inicial) e PF (peso final) avaliada por meio de uma balança digital de alta precisão.

✓ Análise os índices de transporte (IT) e centralização (CC) dos canais radiculares nos diferentes sistemas de NiTi (Trunatomy®, Protaper Ultimate®, Wave One Gold® e Reciproc Blue®) valendo-se das imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) realizadas antes e depois do preparo.

4. METODOLOGIA

4.1. Tipo de pesquisa:

Investigação experimental laboratorial *in vitro*.

4.2. Unidade experimental:

Instrumento de níquel-titânio; molares inferiores prototipados.

4.3. Fatores estudados:

Perda gradual de massa, de eficiência de corte em instrumentos de níquel-titânio e os efeitos nos índices de transporte (IT) e centralização (CC) do preparo em molares prototipados após múltiplos usos.

4.4. Obtenção e seleção da amostra

Foram utilizadas quarenta réplicas de molares inferiores prototipados (IM do Brasil Ltda. São Paulo/SP) divididas aleatoriamente e distribuídas em 04 grupos experimentais de acordo com o sistema rotatório utilizado (n=10): G1. Trunatomy®; G2. Protaper Ultimate®; G3. Wave One Gold® e G4. Reciproc Blue®. (Quadro 1.) Antes de qualquer intervenção, as réplicas dos molares prototipados e os instrumentos tiveram de ser lavados em cuba ultrassônica digital (Cristófoli Equipamentos, Cristófoli, Campo Mourão, PR, Brasil), com água destilada e detergente enzimático (Riozyme ECO, Rioquímica, SP, Brasil) na proporção de 10:1 por 20 minutos, secos com jato de ar a temperatura ambiente. A seguir, cada réplica e cada instrumento foram então pesados em uma balança analítica digital de alta precisão (Bel Engineering, Milão, Itália) para determinar o peso inicial (PI).

Grupo experimental (n=10)	Cinemática do Movimento	Fabricante
G1. Trunatomy®	Contínuo	Dentsply/Maillefer
G2. Protaper Ultimate®	Contínuo	Dentsply/Maillefer
G3. Wave One Gold®	Reciprocante	Dentsply/Maillefer
G4. Reciproc Blue®	Reciprocante	VDW Dental

Quadro 1. Distribuição dos grupos experimentais conforme o sistema rotatório e a cinemática do movimento.

4.5. Delineamento experimental

Inicialmente os canais mesio-vestibulares (conduto de escolha para este estudo) dos dentes foram esvaziados até a lima K-file #15 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), em toda a sua extensão, até se obter a visualização da lima através do forame apical. Deste comprimento foi recuado um milímetro, obtendo o comprimento real de trabalho de cada amostra, sendo o ponto de referência utilizado como parâmetro para essa determinação a cúspide mesio-vestibular e disto-vestibular.

Após a etapa de esvaziamento e exploração, procedeu-se a distribuição dos dentes aleatoriamente em 04 grupos (n=10) de acordo com o sistema rotatório empregado na instrumentação, e com alargamento dos terços cervical e médio previamente à instrumentação dos canais radiculares:

Durante a instrumentação do terço apical dos canais radiculares, a estes foi conduzida uma irrigação copiosa a cada troca de instrumento com 5 ml de água destilada e deionizada, com o auxílio de uma seringa Ultradent 5ml e acoplada a uma cânula de irrigação Navitip (Ultradent Products Inc. 505 West 10200, South, South Jordan, UT 84095) até atingir o comprimento de trabalho, conforme as orientações do fabricante para o sistema utilizado no presente estudo.

O procedimento de lavagem e secagem dos instrumentos de NiTi e das réplicas dos molares inferiores prototipados foi realizado antes da instrumentação (PI) e repetido após cada uso, para determinação do peso final (PF). As perdas de massa bem como a eficiência de corte de cada instrumento foram medidas com auxílio de uma balança analítica digital de precisão (Bel Engineering, Milão, Itália) calculadas pelas diferenças entre as mensurações dos pesos iniciais (PI) dos instrumentos e das réplicas antes e após preparo (PF) respectivamente, realizados por cada instrumento de cada grupo. Cada um dos quatro grupos experimentais de sistemas de limas realizou a instrumentação de dez molares inferiores prototipados com auxílio do motor elétrico X-Smart Plus® nas configurações de rotação e torque recomendados para cada sistema e obedecendo à sequência completa de limas de cada fabricante.

Concluída a instrumentação, os canais radiculares foram secos com cones de papel absorvente (Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil) de calibre correspondente ao

último instrumento. Posteriormente, obteve-se novas imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico para a determinação do índice de transporte (IT) e da capacidade de centralização (CC) do preparo do canal radicular nos diferentes grupos. O mesmo protocolo descrito anteriormente para a aquisição das imagens iniciais foi utilizado, usando a ferramenta de sincronização de imagens do software do tomógrafo Orthopantomograph™ OP 300 (Intrumentarium Dental, Finlândia).

4.6. Análise do índice transporte e centralização do canal radicular

A análise das imagens para a determinação do índice de transporte (IT) e da capacidade de centralização do canal radicular (CC) foi realizada utilizando a metodologia validada em pesquisa publicadas anteriormente(14).

Para realizar as mensurações, utilizou-se o software OsiriX® DICOM Viewer versão 8.0.2 (Pixmeo SARL, Bernex, Suíça) em um computador MacBook Pro (Apple Inc., Santa Clara, CA, EUA), com sistema operacional MacOS Sierra versão 10.13.6 (Apple Inc., Santa Clara, CA, EUA), com processador Intel Core i5® 2,4 Ghz (Intel Corporation, Santa Clara, CA, EUA), placa de vídeo Intel HD Graphics 5000 (Intel Corporation, Santa Clara, CA, EUA) e monitor de 13,3 polegadas resolução 1440 x900.

O índice de transporte do canal radicular foi determinado no sentido mesio-distal da raiz mesio-vestibular, estabelecendo-se ao nível de 3mm abaixo da furca para a realização das mensurações nas imagens que correspondeu à variação, em milímetros, do desvio do eixo central do canal radicular após a instrumentação. As navegações no plano axial das imagens sincronizadas foram iniciadas no vértice radicular, tanto nas imagens iniciais quanto nas finais, até atingir o nível pré-estabelecido. Para facilitar as mensurações, ajustes de ampliação, brilho e contraste disponíveis no programa foram utilizados.

O transporte do canal radicular no sentido mesio-distal foi estabelecido a partir da mensuração da menor distância entre a imagem das paredes mesial e distal do canal radicular e a superfície externa radicular mesial e distal, antes (M1 e D1) e após (M2 e D2) o preparo do canal radicular (Figura 1). Igualmente, o transporte do canal radicular no sentido vestibulo-lingual foi determinado a partir da mensuração da menor distância entre a imagem das paredes vestibular e lingual do canal

radicular e a superfície externa radicular vestibular e lingual, antes (V1 e L1) e após (V2 e L2) o preparo do canal radicular (Figura 1).

4.7. Aquisição das imagens

Para a aquisição das mensurações utilizou-se o software do próprio tomógrafo Orthopan tomograph TM OP 300 (Intrumentarium Dental) em uma estação de trabalho PC com o Windows 8 Professional (Microsoft Corp., Redmond, EUA), equipado com um processador Intel i7 2,86 Ghz (Intel Corp., Santa Clara, EUA), NVIDIA GeForce 6200 turbo cache videocard (NVIDIA Corp., Santa Clara, EUA), e monitor ELZO-Flexscan S2000 com resolução de 1600 a 1200 pixels (ELZO NANA Corp., Hakusan, Japão).

As mensurações foram realizadas por dois examinadores em dois momentos distintos (antes e após os preparos) onde buscou-se mostrar, pelo teste de Kappa, nível de concordância entre eles. O cálculo do índice de transporte (IT) do canal radicular no sentido mesiodistal (MD) e no vestíbulo-lingual (VL) foi realizado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$IT (MD) = (M1 - M2) - (D1 - D2)$$

$$IT (VL) = (V1 - V2) - (L1 - L2)$$

Quando a aplicação da fórmula, mostrada anteriormente, resultar em IT (MD) com valor negativo: é considerado transporte do canal radicular no sentido distal, valor positivo: transporte no sentido mesial, e quando igual a zero: como ausência de transporte. O resultado com valor negativo do IT (VL): é estabelecido como transporte do canal radicular no sentido lingual, valor positivo: transporte no sentido vestibular, e quando igual a zero: como ausência de transporte. A análise da capacidade de centralização (CC) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por GAMBILL et al. (1996), os quais definiram a capacidade de centralização como a habilidade do instrumento endodôntico em manter-se no eixo central do canal radicular. A determinação da CC foi realizada a partir dos valores obtidos na mensuração das distâncias para o cálculo do IT.

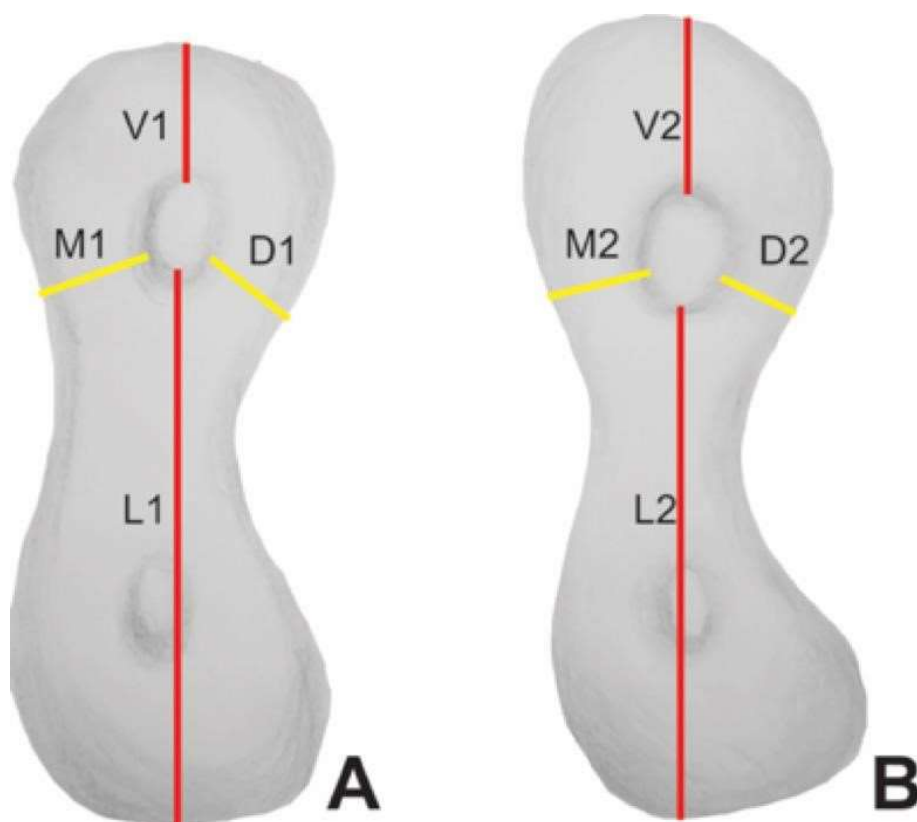
Para o estabelecimento da CC do preparo do canal radicular, no sentido mesio-distal e vestibulo-lingual, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$CC(MD) = \frac{M1 - M2}{D1 - D2} \text{ OU } CC(MD) = \frac{D1 - D2}{M1 - M2}$$

$$CC(VL) = \frac{V1 - V2}{L1 - L2} \text{ OU } CC(VL) = \frac{L1 - L2}{V1 - V2}$$

Para a fórmula anterior foi selecionado como numerador o menor valor das diferenças entre as mensurações das distâncias antes e após o preparo. O resultado da aplicação desta fórmula, quando igual a um ($CC = 1$): indica capacidade de centralização perfeita do preparo do canal radicular no sentido mesiodistal e/ou vestibulolingual, e quanto mais próximo de zero ($0 \geq CC \leq 0,999$): menor a habilidade do instrumento em manter-se no eixo central do canal radicular.

Figura 1. Desenho esquemático da mensuração da menor distância entre a imagem das paredes mesial e distal do canal radicular e a superfície externa radicular mesial e distal, antes (M1 e D1) e após (M2 e D2) o preparo do canal radicular.



4.8. Análise estatística dos resultados

Os dados originais referentes a eficiência de corte e IT e a CC do preparo do canal radicular foram digitados no programa Microsoft Office Excel (Microsoft Corporation, Washington, EUA) e posteriormente exportados para o software Jamovi, versão 2.4 (The Jamovi Project, 2023) para análise estatística.

A distribuição normal dos dados foi confirmada pelos testes de Shapiro-Wilk. Para análise da perda de massa e eficiência de corte, foram aplicados os testes ANOVA e teste de Tukey, Kruskal-Wallis para IT e CC, as medidas no nível específico do canal radicular foram feitas a partir do teste de Friedman e para análise intergrupos o teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner. Adotando $P < 0,05$.

5. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os valores da mediana (g) e do intervalo interquartil (Q25–Q75) referentes aos pesos iniciais (P1), finais (P2), à porcentagem de redução da eficiência de corte (%) e à diferença entre os pesos nos diferentes grupos testados. Observaram-se diferenças em P2 ($p=0,001$), na porcentagem de redução da eficiência de corte ($p=0,004$) e na diferença entre os pesos ($p=0,004$).

Na análise intergrupos, foram identificadas diferenças em P2 entre G2 e G3 ($p=0,021$) e entre G2 e G4 ($p=0,013$). Para a porcentagem de redução da eficiência de corte, a diferença ocorreu entre G2 e G4 ($p=0,027$). Quanto à diferença entre os pesos, também se verificou diferença entre G2 e G4 ($p=0,027$).

A Tabela 2 apresenta os valores da mediana e do intervalo interquartil (Q25–Q75) de IT e CC (mm) nos canais méso-vestibulares de molares inferiores prototipados ($n=10$), analisados na direção méso-distal (MD) após o preparo. Não foram observadas diferenças no IT entre os grupos experimentais em ambas as direções (MD e VL). Nos grupos G1 e G2, as medianas de IT (MD) apresentaram valores negativos, indicando transporte do canal no sentido distal. Já nos grupos G3 e G4, os valores foram iguais a zero, sugerindo ausência de transporte em MD. Para a CC (MD), não houve diferença entre os grupos ($p=0,065$), sendo os maiores valores observados nos grupos com cinemática recíprocante (G3 e G4). Nenhum grupo apresentou mediana de CC (MD) igual a 1, ou seja, não houve centralização perfeita.

A Tabela 3 apresenta os valores da mediana e do intervalo interquartil (Q25–Q75) de IT e CC (mm) analisados na direção vestibulo-lingual (VL). Todos os grupos apresentaram medianas negativas de IT (VL), indicando transporte do canal no sentido distal. Para a CC (VL), não foram observadas diferenças entre os grupos ($p=0,467$). Assim como em MD, os maiores valores de CC foram encontrados nos grupos com cinemática recíprocante (G3 e G4). Nenhum grupo apresentou mediana de CC igual a 1, caracterizando ausência de centralização perfeita.

Tabela 1. Valores da mediana (g) e intervalo interquartil (Q25–Q75) dos pesos iniciais (P1), finais (P2), da porcentagem de redução da eficiência de corte (%) e da diferença entre os pesos nos diferentes grupos testados.

Grupo experimental (n=10)	Peso inicial (P1)		Peso final (P2)		Redução da eficiência de corte (%)		Diferença de Peso (P1-P2)	
	Mediana	Q25–Q75	Mediana	Q25–Q75	Mediana	Q25–Q75	Mediana	Q25–Q75
G1. Trunatomy®	1.06 ^{Aa}	1.05-1.06	1.03 ^{Ba}	1.01-1.03	3.06 ^{Ca}	2.72-3.23	0.032 ^{Da}	0.028-0.033
G2. Protaper Ultimate®	1.04 ^{Aa}	1.04-1.05	0.99 ^{Bb}	0.99-1.01	4.31 ^{Cc}	3.86-4.77	0.045 ^{Dd}	0.04-0.049
G3. Wave One Gold®	1.05 ^{Aa}	1.04-1.06	1.02 ^{Ba}	1.01-1.02	3.47 ^{Ca}	2.07-3.83	0.036 ^{Da}	0.02-0.04
G4. Reciproc Blue®	1.05 ^{Aa}	1.04-1.05	1.02 ^{B,b}	1.01-1.03	2.46 ^{Ca}	2.27-3.32	0.026 ^{Da}	0.02-0.035
Valor de p	0.099		0.001		0.004		0.004	

*Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes entre os grupos ($p < 0,05$).

*Diferentes letras minúsculas na coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Tabela 2. Valores da mediana e intervalo interquartil (Q25–Q75) do IT e CC (mm) nos canais méso-vestibulares de molares inferiores prototipados (n=10), analisados nas direções méso-distal (MD) após o preparo nos diferentes grupos testados.

Grupo experimental (n=10)	Índice de transporte (IT) Direção (MD)		Capacidade de (CC) Direção (MD)	
	Mediana	Q25–Q75	Mediana	Q25–Q75
G1. Trunatomy®	-0.2 ^{Aa}	-0.275 / -2.0	0.655 ^{Aa}	0.413 / 0.673
G2. Protaper Ultimate®	-0.25 ^{Aa}	-0.55 / -0.25	0.695 ^{Aa}	0.315 / 0.745
G3. Wave One Gold®	0.0 ^{Aa}	-0.45 / 0.1	0.875 ^{Aa}	0.507 / 2.3
G4. Reciproc Blue®	0.0 ^{Aa}	-0.2 / 0.075	0.890 ^{Aa}	0.365 / 1.14
Valor de p	0.114		0.065	

*Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes entre os grupos (p<0,05).

*Diferentes letras minúsculas na coluna indicam diferenças significativas (p<0,05).

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas (p<0,05).

Tabela 3. Valores da mediana e intervalo interquartil (Q25–Q75) do IT e CC (mm) nos canais méso-vestibulares de molares inferiores prototipados (n=10), analisados nas direções vestibulo-lingual (VL) após o preparo nos diferentes grupos testados.

Grupo experimental (n=10)	Índice de transporte (IT) Direção (VL)		Capacidade de (CC) Direção (VL)	
	Mediana	Q25–Q75	Mediana	Q25–Q75
G1. Trunatomy®	-0.185 ^{Aa}	-0.272 / -0.163	0.655 ^{Aa}	0.453 / 0.685
G2. Protaper Ultimate®	-0.245 ^{Aa}	-0.537 / -0.045	0.695 ^{Aa}	0.325 / 0.755
G3. Wave One Gold®	-0.005 ^{Aa}	-0.429 / 0.05	0.875 ^{Aa}	0.517 / 2.5
G4. Reciproc Blue®	-0.01 ^{Aa}	-0.188 / 0.08	0.890 ^{Aa}	0.375 / 1.27
Valor de p	0.204		0.467	

*Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes entre os grupos (p<0,05).

*Diferentes letras minúsculas na coluna indicam diferenças significativas (p<0,05).

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas (p<0,05).

6. DISCUSSÃO

O aprimoramento das ligas de níquel-titânio associada aos avanços nas técnicas biomecânicas de instrumentação de canais radiculares curvos trouxe expressivos avanços na qualidade final da modelagem (1, 2, 17, 20). Nesse sentido a capacidade de corte dos instrumentos endodônticos de diferentes cinemáticas, desenhos e lâminas de corte influencia sobremaneira no alcance dos resultados.

No presente estudo, a capacidade de corte dos instrumentos nos diferentes grupos testados foi analisada por meio da diferença de pesos inicial e final dos dentes prototipados utilizando uma balança analítica digital de precisão com metodologia validada em pesquisas publicadas anteriormente(11).

A hipótese nula previamente levantada na presente investigação assumiu que o uso repetitivo dos instrumentos de NiTi não influenciaria a capacidade de corte, bem como os índices de transporte (IT) e de centralização (CC), independentemente do sistema empregado. Os resultados obtidos permitem rejeitar parcialmente essa hipótese, uma vez que se observaram diferenças entre os grupos quanto à eficiência de corte, mas não em relação aos índices de transporte e centralização.

Os achados demonstraram redução progressiva da eficiência de corte com o aumento do número de usos, especialmente no grupo G2 que apresentou diferenças expressivas quando comparado aos grupos G3 e G4. Esse resultado está em consonância com estudos prévios que documentaram o desgaste e a perda gradual da capacidade de corte de instrumentos de NiTi após usos repetidos, atribuídos a modificações no fio de corte, deformações plásticas e acúmulo de tensões durante a instrumentação. Por outro lado, nos grupos de cinemática reciprocante G3 e G4 apresentaram desempenho mais estável, corroborando a literatura que aponta para maior durabilidade e resistência à fadiga cíclica dessas cinemáticas.

Essa diminuição na capacidade de remoção de dentina está alinhada com estudos que apontam o desgaste progressivo dos instrumentos como fator determinante para a redução da eficiência, especialmente em instrumentos rotatórios contínuos que sofrem maior fadiga cíclica (7, 8, 13, 21, 22). Instrumentos reciprocantes, por alternar o movimento rotacional, apresentam maior resistência

ao desgaste e maior manutenção da eficiência por mais usos, confirmando achados de outros autores (28-30)

Os métodos para avaliação da eficiência de corte incluem medidas indiretas, como torque e tempo de instrumentação, além de análises em blocos acrílicos e resinas que padronizam o canal para avaliação da remoção de material (7-9, 11, 21, 31). Neste estudo, utilizou-se uma balança digital analítica de alta precisão para pesagem dos dentes prototipados antes e depois do preparo, proporcionando uma mensuração direta e quantitativa da dentina removida, o que configura um método simples, reproduzível e objetivo com maior aproximação das condições clínicas reais em comparação a blocos de resina (11). Tal metodologia contribui para a precisão na quantificação da eficiência de corte e pode ser recomendada para futuros estudos que busquem monitorar o desgaste dos instrumentos em ambientes padronizados.

A manutenção da anatomia do canal radicular após o preparo é um aspecto crítico em pesquisas endodônticas, e diferentes metodologias já foram utilizadas, desde canais artificiais (32). Entretanto, esses métodos apresentam limitações relacionadas à bidimensionalidade da imagem, à sobreposição de estruturas ou à necessidade de cortes destrutivos. Nesse contexto, a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) consolidou-se como uma alternativa não destrutiva e acessível, capaz de fornecer imagens tridimensionais com adequada resolução espacial e reprodutibilidade(15, 16, 25, 33).

A análise multidimensional do preparo foi realizada por meio da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), técnica amplamente reconhecida por permitir análises tridimensionais precisas e não destrutivas da morfologia do canal radicular, incluindo parâmetros como índice de transporte e centralização (15, 16, 25, 33, 34). Estudos que empregam TCFC demonstram sua capacidade de identificar com acurácia alterações sutis no contorno canalicular e avaliar a eficácia dos protocolos de instrumentação (34-37). A utilização desta tecnologia reforça a confiabilidade dos resultados obtidos e destaca a importância de análises avançadas na pesquisa endodôntica (2, 14, 35).

No presente estudo, não foram verificadas diferenças relevantes entre os grupos quanto ao transporte (IT) e à centralização (CC), tanto na direção méso-distal quanto vestíbulo-lingual. Esse achado está alinhado com investigações que

sugerem que, apesar da perda gradual da eficiência de corte, a geometria dos instrumentos e a cinemática empregada mantêm a capacidade de preservar a anatomia original dos canais radiculares (15, 16, 38). Em contrapartida, outros trabalhos reportaram maior transporte em instrumentos rotatórios contínuos quando comparados aos reciprocantes (7, 13, 15, 16, 30), possivelmente devido a diferenças metodológicas, como o tipo de dente utilizado (naturais versus prototipados), número de usos considerados ou parâmetros de análise de imagem.

Outro aspecto a ser destacado refere-se ao uso de molares inferiores prototipados. Esses modelos oferecem vantagens relevantes, como a padronização experimental e a redução de variáveis anatômicas, o que favorece a reprodutibilidade dos resultados e a comparação controlada entre grupos (27). Além disso, podem representar uma alternativa válida para a avaliação inicial do desempenho de instrumentos, especialmente em estudos que buscam isolar fatores específicos. No entanto, é importante reconhecer que eles não reproduzem integralmente as propriedades biomecânicas da dentina natural, como dureza, elasticidade e resistência ao desgaste (39, 40). Essa limitação pode impactar a extrapolação dos achados para a prática clínica, na qual os instrumentos estão sujeitos a condições mais complexas. Ainda assim, o modelo experimental utilizado mostrou-se adequado para os objetivos do estudo, permitindo avaliar de forma controlada a influência do número de usos sobre as variáveis investigadas.

De modo geral, os resultados reforçam que o uso repetitivo dos instrumentos de NiTi promove redução da eficiência de corte, sobretudo em sistemas rotatórios contínuos, mas não compromete de forma relevante os parâmetros de transporte e centralização do preparo. Esses achados sugerem que, embora a durabilidade mecânica seja superior nos sistemas reciprocantes, a manutenção da qualidade geométrica do preparo pode ser assegurada em diferentes cinemáticas, desde que respeitados os limites de uso recomendados pelo fabricante e as condições clínicas de aplicação.

Perspectivas futuras incluem a realização de estudos que utilizem dentes humanos extraídos para melhor simular as condições clínicas, além da incorporação de técnicas de micro-CT que permitam uma análise tridimensional mais refinada do preparo. Avaliações adicionais sobre o impacto da esterilização, da presença de curvaturas severas e da densidade dentinária real também são

necessárias para validar os achados em cenários clínicos. Ademais, análises de custo-benefício associadas ao número de usos permitidos para cada sistema podem contribuir para orientar protocolos de utilização segura e eficiente dos instrumentos de NiTi.

7. CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia empregada na presente investigação, pode-se concluir que o número de usos influenciou a eficiência de corte dos instrumentos avaliados, sendo observado desempenho inferior no sistema Protaper Ultimate® em comparação aos sistemas reciprocantes. Por outro lado, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas na qualidade da modelagem do canal radicular entre os grupos analisados, uma vez que não houve variações relevantes quanto ao transporte e à capacidade de centralização, embora nenhum sistema tenha apresentado centralização perfeita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Estrela C, Holland R, Estrela CR, Alencar AH, Sousa-Neto MD, Pecora JD. Characterization of successful root canal treatment. *Braz Dent J*. 2014;25(1):3-11.
2. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*. 2004;30(8):559-67.
3. Rodrigues RC, Lopes HP, Elias CN, Amaral G, Vieira VT, De Martin AS. Influence of different manufacturing methods on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*. 2011;37(11):1553-7.
4. Versiani MA, Martins J, Ordinola-Zapata R. Anatomical complexities affecting root canal preparation: a narrative review. *Aust Dent J*. 2023;68 Suppl 1:S5-s23.
5. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J*. 2008;41(4):339-44.
6. Faus-Matoses V, Faus-Llácer V, Aldeguez Muñoz Á, Alonso Pérez-Barquero J, Faus-Matoses I, Ruiz-Sánchez C, et al. A Novel Digital Technique to Analyze the Wear of CM-Wire NiTi Alloy Endodontic Reciprocating Files: An In Vitro Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(6).
7. Pedullà E, Leanza G, La Rosa GRM, Gueli AM, Pasquale S, Plotino G, et al. Cutting efficiency of conventional and heat-treated nickel-titanium rotary or reciprocating glide path instruments. *Int Endod J*. 2020;53(3):376-84.
8. Pedullà E, La Paglia P, La Rosa GRM, Gueli AM, Pasquale S, Jaramillo DE, et al. Cutting efficiency of heat-treated nickel-titanium single-file systems at different incidence angles. *Aust Endod J*. 2021;47(1):20-6.
9. Plotino G, Giansiracusa Rubini A, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cutting efficiency of Reciproc and waveOne reciprocating instruments. *J Endod*. 2014;40(8):1228-30.
10. Schäfer E, Oitzinger M. Cutting efficiency of five different types of rotary nickel-titanium instruments. *J Endod*. 2008;34(2):198-200.
11. Cecchin D, de Sousa-Neto MD, Pécora JD, Gariba-Silva R. Cutting efficiency of four different rotary nickel: Titanium instruments. *J Conserv Dent*. 2011;14(2):117-9.
12. Fayyad DM, Elhakim Elgendy AA. Cutting efficiency of twisted versus machined nickel-titanium endodontic files. *J Endod*. 2011;37(8):1143-6.
13. Mustafa M, Attur K, Bagda KK, Singh S, Oak A, Kathiria N. An Appraisal on Newer Endodontic File Systems: A Narrative Review. *J Contemp Dent Pract*. 2022;23(9):944-52.

14. Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22(7):369-75.
15. Mamede-Neto I, Borges Á H, Alencar AHG, Duarte MAH, Sousa Neto MD, Estrela C. Multidimensional Analysis of Curved Root Canal Preparation Using Continuous or Reciprocating Nickel-titanium Instruments. *Open Dent J.* 2018;12:32-45.
16. Mamede-Neto I, Borges AH, Guedes OA, de Oliveira D, Pedro FL, Estrela C. Root Canal Transportation and Centering Ability of Nickel-Titanium Rotary Instruments in Mandibular Premolars Assessed Using Cone-Beam Computed Tomography. *Open Dent J.* 2017;11:71-8.
17. Gavini G, Santos MD, Caldeira CL, Machado MEL, Freire LG, Iglecias EF, et al. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res.* 2018;32(suppl 1):e67.
18. Karkehabadi H, Shokri A, Banitalebi N, Abbasi R. Comparative Evaluation of Canal Transport and Centralization Between ProTaper Next and XP-endo Shaper Systems Using TCFC Analysis: An In Vitro Study. *Int J Dent.* 2025;2025:7245596.
19. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod.* 1988;14(7):346-51.
20. Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YC, Mazzi-Chaves JF, Carvalho KKT, Barbosa AFS, Versiani MA, et al. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Braz Oral Res.* 2018;32(suppl 1):e66.
21. Gambarini G, Giansiracusa Rubini A, Sannino G, Di Giorgio G, Piasecki L, Al-Sudani D, et al. Cutting efficiency of nickel-titanium rotary and reciprocating instruments after prolonged use. *Odontology.* 2016;104(1):77-81.
22. Pedullà E, La Rosa GRM, Romano G, Leanza G, Rapisarda S, Isola G, et al. Influence of kinematics and incidence angles on the cutting efficiency of two single-file nickel-titanium rotary instruments. *Aust Endod J.* 2022;48(1):58-64.
23. Ballester B, Giraud T, Ahmed HMA, Nabhan MS, Bukiet F, Guivarc'h M. Current strategies for conservative endodontic access cavity preparation techniques-systematic review, meta-analysis, and decision-making protocol. *Clin Oral Investig.* 2021;25(11):6027-44.
24. Botros MM, ElBatouty KM, Abdelrahman TY. Effect of sterilization on the cutting efficiency of two different rotary NiTi instruments (An In- vitro Study). *BMC Oral Health.* 2025;25(1):1173.
25. Hassan R, Roshdy N, Issa N. Comparison of canal transportation and centering ability of Xp Shaper, WaveOne and Oneshape: a cone beam computed tomography study of curved root canals. *Acta Odontol Latinoam.* 2018;31(1):67-74.

26. Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod*. 2010;36(5):904-7.
27. Decurcio DA, Lim E, Chaves GS, Nagendrababu V, Estrela C, Rossi-Fedele G. Pre-clinical endodontic education outcomes between artificial versus extracted natural teeth: a systematic review. *Int Endod J*. 2019;52(8):1153-61.
28. De Pedro-Muñoz A, Rico-Romano C, Sánchez-Llobet P, Montiel-Company JM, Mena-Álvarez J. Cyclic Fatigue Resistance of Rotary versus Reciprocating Endodontic Files: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2024;13(3).
29. Kim E, Ha JH, Dorn SO, Shen Y, Kim HC, Kwak SW. Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Nickel-Titanium Instruments. *J Endod*. 2024;50(2):213-9.
30. Thu M, Ebihara A, Maki K, Miki N, Okiji T. Cyclic Fatigue Resistance of Rotary and Reciprocating Nickel-Titanium Instruments Subjected to Static and Dynamic Tests. *J Endod*. 2020;46(11):1752-7.
31. Delgoshayi N, Abbasi M, Bakhtiar H, Sakhdari S, Ghannad S, Ellini MR. Canal Transportation and Centering Ability of ProTaper and SafeSider in Preparation of Curved Root Canals: A TCFC Evaluation. *Iran Endod J*. 2018;13(2):240-5.
32. Lamira A, Mazzi-Chaves JF, Nicolielo LFP, Leoni GB, Silva-Sousa AC, Silva-Sousa YTC, et al. TCFC-based assessment of root canal treatment using micro-CT reference images. *Imaging Sci Dent*. 2022;52(3):245-58.
33. Hage W, Zogheib C, Bukiet F, Sfeir G, Khalil I, Gergi R, et al. Canal Transportation and Centring Ability of Reciproc and Reciproc Blue With or Without Use of Glide Path Instruments: A TCFC Study. *Eur Endod J*. 2020;5(2):118-22.
34. Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review. *Int Endod J*. 2015;48(1):3-15.
35. Estrela C, Bueno MR, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Method for determination of root curvature radius using cone-beam computed tomography images. *Braz Dent J*. 2008;19(2):114-8.
36. Nehme W, Araj S, Michetti J, Zogheib C, Naaman A, Khalil I, et al. Assessment of root canal transportation of 2Shape and ProTaper gold in mandibular molar mesial canals: A micro-computed tomographic study. *Microsc Res Tech*. 2021;84(4):746-52.
37. Wang D, Wang W, Li YJ, Wang YR, Hong T, Bai SZ, et al. The effects of endodontic access cavity design on dentine removal and effectiveness of canal instrumentation in maxillary molars. *Int Endod J*. 2021;54(12):2290-9.

38. Borges CC, Estrela C, Decurcio DA, PÉcora JD, Sousa-Neto MD, Rossi-Fedele G. Cone-beam and micro-computed tomography for the assessment of root canal morphology: a systematic review. *Braz Oral Res.* 2020;34:e056.
39. Muhammad N, Sarfraz Z, Zafar MS, Liaqat S, Rahim A, Ahmad P, et al. Characterization of various acrylate based artificial teeth for denture fabrication. *J Mater Sci Mater Med.* 2022;33(2):17.
40. Yekta-Michael SS, Färber CM, Heinzel A. Evaluation of new endodontic tooth models in clinical education from the perspective of students and demonstrators. *BMC Med Educ.* 2021;21(1):447.