



Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Odontologia de Piracicaba

Felipe Guarda Dallavilla

**“Estudo da secção transversal das limas endodônticas e
seus diferentes designs. Revisão de literatura”**

Piracicaba

2018

Felipe Guarda Dallavilla

“Estudo da secção transversal das limas endodônticas e seus diferentes designs. Revisão de literatura”

Monografia apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Especialista em Endodontia.

Orientador: Dr. Prof. Alexandre Augusto Zaia

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL
DA MONOGRAFIA APRESENTADA PELO ALUNO
FELIPE GUARDA DALLAVILLA E ORIENTADO PELO
DR. PROF. ALEXANDRE AUGUSTO ZAIA.

Piracicaba

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba
Marilene Girello - CRB 8/6159

D162e Dallavilla, Felipe Guarda, 1991-
Estudo da secção transversal das limas endodônticas e seus diferentes designs. Revisão de literatura / Felipe Guarda Dallavilla. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Alexandre Augusto Zaia.
Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Endodontia. 2. Preparo de canal radicular. I. Zaia, Alexandre Augusto, 1968-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Palavras-chave em inglês:

Endodontics

Root canal preparation

Área de concentração: Endodontia

Titulação: Especialista

Data de entrega do trabalho definitivo: 27-02-2018

Resumo

O objetivo do tratamento endodôntico consiste na remoção do tecido pulpar, bactérias e endotoxinas do sistema de canal radicular. A instrumentação do canal radicular é uma parte importante do tratamento endodôntico, uma vez que os canais recebem uma formatação cônica adequada, possibilitando uma obturação hermética de todo o sistema de canais radiculares.

Neste contexto a etapa da instrumentação do canal radicular passa por um período de evolução com os novos instrumentos criados a partir da liga de Níquel-Titânio (Ni-Ti). O processo de usinagem desta liga flexível resulta em formatos diferenciados aos instrumentos endodônticos, que promovem vantagens aos tratamentos, principalmente aos mais complicados.

A possibilidade de criar design de secções transversais diferentes promove ao profissional possibilidade de escolher qual o melhor instrumento para determinados casos específicos, visando um tratamento mais seguro. Contudo, no meio de um vasto mercado de instrumentos endodônticos, o profissional deve estar sempre informado das características que compõem as limas e saber selecioná-las para o uso no dia-a-dia.

A fim de conhecer a diferença do design da secção transversal de algumas limas endodônticas presentes no mercado, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre as informações referentes aos diferentes tipos de secções transversais dos instrumentos.

Palavras-Chaves: Preparo de canal radicular; Endodontia.

Abstract

The purpose of endodontic treatment is to remove pulp tissue, bacteria and endotoxins from the root canal system. An instrumentation of the root canal is an important part of the endodontic treatment, once canals receive a conical format, making possible a hermetic seal of the whole system of root canals.

In this context, the root canal instrumentation stage goes through a period of evolution with new instruments created from the nickel-titanium (Ni-Ti) alloy. The machining process of this flexible alloy results in different formats to the endodontic instruments, which promote advantages to the treatments, especially to the most complicated ones. A possibility to create design of different cross-sections provides to the professional the possibility of choosing the best instrument for certain specific cases, aiming at a safer treatment. However, in the middle of a vast market of endodontic instruments, the professional must always be informed of the characteristics that make up the endodontic files and know how to select for the non-daily use.

In order to know a difference in the cross-sectional design of some endodontic files present in the market, this work aims to review a literature on information regarding different types of cross-sections of the instruments.

Key-Words: Root canal preparation; Endodontics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. PROPOSIÇÃO	9
3. REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1. Ligas Metálicas	10
3.2. Secção Transversal	13
3.3. Design das Limas Endodônticas	23
4. DISCUSSÃO	35
5. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1. Introdução

Limas endodônticas são ferramentas utilizadas como agentes mecânicos na limpeza dos canais radiculares. O conhecimento dos designs geométricos e o comportamento mecânico destes instrumentos são de fundamental importância para o profissional, já que o resultado do tratamento endodôntico depende do seu instrumento de trabalho. Neste contexto, um dos objetivos do desenvolvimento tecnológico foi à busca por procedimentos operatórios mais rápidos e de simples execução sem perda da qualidade do tratamento, sendo uma vantagem tanto para o paciente quanto para o profissional. Dessa forma, as limas rotatórias trouxeram um grande avanço ao tratamento endodôntico, pois diminuíram significativamente o tempo de trabalho utilizado para garantir a máxima limpeza e modelagem de todo o comprimento dos canais radiculares.

Os instrumentos endodônticos podem ser fabricados de ligas de aço inoxidável ou níquel-titânio (Ni-Ti), suas propriedades mecânicas associadas ao comportamento dos instrumentos, quando submetidos à ação de forças externas são alteradas com o design da lima endodôntica e com a liga metálica utilizada em sua fabricação (Lopes e Siqueira Junior, 2015). No geral as limas endodônticas são formadas por cabo, intermediário e parte de trabalho, este que se divide em ponta e haste de corte. Durante o processo de fabricação das limas suas características vão sendo formadas. Dentre estas características, a seção transversal do instrumento endodôntico é de extrema importância para a escolha da melhor lima para determinada anatomia radicular (Leonardo, 2005).

Estudos mostram que a seção transversal dos instrumentos endodônticos influenciam na flexibilidade, resistência às fraturas, poder de corte, entre outros fatores que devem ser levados em consideração ao iniciar o tratamento de dentes que apresentam grande dilaceração radicular, atresias ou outras alterações anatômicas que possam levar a uma iatrogenia operatória. (El-Anwar et al., 2016). Os componentes que formam a seção transversal podem ser divididos em: aresta lateral de corte, núcleo, e superfície canal helicoidal. As arestas laterais de corte representam as arestas cortantes do instrumento. Ela pode apresentar a forma de filete ou de guia radial. Sua característica mais importante é a espessura da aresta, quanto menos espessa é a aresta, maior facilidade terá para cortar a dentina radicular. Estudos mostram que quanto maior a aresta, maior será o atrito nas paredes de dentina, sendo assim menor será seu poder de corte, levando a um maior o tempo de trabalho.

A partir da forma da seção transversal da haste de corte, assim como a posição de suas arestas de corte em relação à parede do canal radicular, pode-se definir e determinar diferentes ângulos relacionados a atividades de corte de uma ferramenta, denominado ângulo de ataque. O ângulo de ataque positivo ou negativo pode ser definido quanto à posição da aresta de corte em relação ao sentido da força aplicada à ferramenta. É considerado positivo quando a aresta de corte está voltada no mesmo sentido da força aplicada e é considerado negativo quando a aresta de corte está voltada no sentido oposto da força aplicada. No geral, os instrumentos endodônticos apresentam ângulo de ataque negativo (Peixoto et al., 2015).

Como a dentina é um material frágil e quebradiço é ideal que os instrumentos endodônticos tenham ângulo de ataque negativo que corte por alargamento ou respe por limagem as paredes do canal radicular de uma forma menos invasiva e mais segura.

O núcleo corresponde à parte central da secção transversal do instrumento, ela garante maior resistência às forças externas ou maior flexibilidade ao instrumento. Quanto maior a massa do núcleo do instrumento, maior será sua resistência à fratura, mas ao mesmo tempo menor sua flexibilidade e vice-versa. Sendo assim, estudos sugerem que limas com núcleos menores são indicadas para glide path de canais atresiadados, diminuindo assim a possibilidade de desvios durante a exploração (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

O canal helicoidal são os sulcos presentes na superfície da haste de corte e estão presente entre as arestas de corte. Tem a função de armazenar e transportar resíduos do interior do canal radicular durante a instrumentação e permitir a passagem da substancia química auxiliar. Quanto mais profunda a superfície do canal helicoidal, menor será o núcleo do instrumento.

A fim de conhecer a diferença do design da secção transversal de algumas limas endodônticas presentes no mercado, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre as informações referentes aos diferentes tipos de secções transversais dos instrumentos.

2. Proposição

O objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre as características das secções transversais, buscando na literatura desde a função de suas estruturas até a função do formato das secções transversais de várias limas presente no mercado. Os temas abordados são:

- Ligas Metálicas
- Secção Transversal
- Design das Limas Endodônticas

3. Revisão de Literatura

3.1 Ligas Metálicas

Os objetivos biológicos dos procedimentos endodônticos são remover todo o tecido da polpa, bactérias e endotoxinas do sistema do canal radicular. A instrumentação mecânica do canal radicular é uma parte importante do tratamento endodôntico, uma vez que os canais recebem uma formatação cônica adequada, no sentido do ápice para a coroa da forma mais regular possível, permitindo uma irrigação química adequada para desinfetar o sistema do canal e possibilitando uma obturação hermética de todo o sistema de canais radiculares (Ghattas e Hoen, 2015). Sendo assim, os instrumentos endodônticos utilizados na instrumentação tem um papel importante no resultado final do tratamento endodôntico.

Segundo Alcalde et al. (2017), as propriedades dos instrumentos endodônticos estão diretamente associadas à sua liga metálica, conicidade, tamanho da ponta, padrão das arestas helicoidais e desenho da secção transversal.

3.1.1 Aço Inoxidável

Até o início da década dos anos 90, as limas endodônticas eram fabricadas com aço inoxidável seguindo padrão ISO internacional de fabricação, com calibre da ponta especificado no cabo de plástico e através de cores estabelecidas, a parte ativa do instrumento com 16 milímetros de comprimento, conicidade de 0,02 milímetros constante na parte ativa, e fabricação em comprimentos de 21mm, 25mm e 31mm (Mortman, 2011; Leonardo, 2005; Leonardo e Leonardo, 2002).

As limas de aço inoxidável são utilizadas até os dias atuais em uso manual, proporcionando excelente corte da dentina. Contudo, devido a rigidez e baixo grau de elasticidade, esses instrumentos possuem limitações para serem utilizados em canais radiculares curvos, atrésicos e ovais (Weiger et al., 2002; Versiani et al., 2011), pois há uma tendência de criarem deformações como zips, perfurações, desvios de trajetória, e retificar canais radiculares curvos (Deplazes et al., 2001). As tentativas dos fabricantes foram fabricar limas com secção transversal triangular, tratamentos térmicos, e diferenças nos ângulos helicoidais, a fim de minimizar estas intercorrências (Cimis et al., 1988).

Os principais tipos incluem: limas K, limas K flexíveis e limas Hedström.

Embora atualmente várias empresas fabriquem limas rotatórias para realizar o cateterismo dos canais radiculares, vários autores indicam o uso de limas manuais previamente às limas rotatórias, principalmente se o dente apresentar variações na anatomia radicular, como por exemplo, dilacerações e atresias. Estas limas manuais para cateterismo devem possuir diâmetro reduzido, conicidade pequena e propriedades mecânicas que permitam o seu avanço em sentido apical com segurança e eficiência. Estas propriedades devem desempenhar flexibilidade e resistência a fraturas durante o processo de cateterismo (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

Normalmente, limas de menor diâmetro são necessárias para a exploração inicial. Contudo, estas limas não têm a rigidez necessária para percorrer espaços apertados

e podem muitas fraturar quando são dirigidas no sentido apical. As limas de maior diâmetro teriam a rigidez, mas seriam muito volumosos demais para deslizarem através de um espaço restringido. Allen MJ, et al., 2007

3.1.2 Liga de Níquel-Titânio

O níquel-titânio (Ni-Ti) foi descrito pela primeira vez como material usado em limas endodônticas em 1988 (Walia et al., 1988) com o objetivo de criar sistemas de instrumentos com diferentes design, mais fáceis e rápidos de se manipular. Os instrumentos de Ni-Ti são fabricados por usinagem em vez de torção, e muitas características de design únicas foram incorporadas por diferentes fabricantes. Devido ao seu alto módulo de elasticidade são mais vantajosas quando comparado com o aço inoxidável. Esta flexibilidade permite aos instrumentos feitos de liga de Ni-Ti trabalhar em canais curvos sem sofrer deformação permanente, com menor risco de desvio e outras iatrogênias (Elsaka et al., 2017; Wycoff e Berzins, 2012; Elnaghy e Elsaka, 2015). Estudos apontam que os instrumentos de Ni-Ti apresentam aproximadamente três vezes mais flexibilidade elástica em flexão e torção quando comparados com os instrumentos de aço inoxidável (Leonardo, 2005).

A maior vantagem do Ni-Ti é sua capacidade de manter a flexibilidade com o aumento da conicidade da lima, resultando assim na criação de grupos de instrumentos que possuem conicidade de 2 a 6 vezes maior que o padrão ISO de 0,02mm constante. Uma característica diferenciada de um instrumento rotatório de níquel-titânio é o aumento do taper de 0,02mm para diâmetros maiores, de até 0,06mm (Leonardo, 2005; Mortman, 2011).

Os instrumentos endodônticos de Ni-Ti mecanizados apresentam secções transversais de suas hastes de corte com diferentes formas, dependendo do fabricante. A forma pode ser a mesma ou pode variar ao longo da haste de corte do instrumento. As variações de corte foram desenvolvidas a partir do conceito de maximizar a eficiência de corte, minimizando a área de contato superficial do instrumento com a parede do canal radicular (Sattapan et al., 2000). Por isso, devido às suas propriedades de flexão, juntamente com o desenho das lâminas de corte, é viável usar limas de Ni-Ti com uma peça de mão em movimento rotatório para o preparo dos canais radiculares.

O conhecimento dessas propriedades é essencial para os novos sistemas de limas que são introduzidos no mercado odontológico.

No entanto, a fratura das limas de Ni-Ti tem se mostrado um problema no uso clínico. Durante a instrumentação do canal radicular, as limas endodônticas são submetidas a esforços de torção e flexão resultante do atrito entre o instrumento e a parede do canal, sendo mais acentuada na passagem da curva radicular e nos canais atrésicos (Elnaghy et al., 2015).

As limas de Ni-Ti apresentam um índice de fratura 7 vezes maior do que as limas de aço inoxidável. Por conta disso, os fabricantes tentaram encontrar novos projetos e processos de fabricação para minimizar a ocorrência de fraturas (Wycoff e Berzins, 2012). Contudo, uma revisão recente da literatura (Parashos et al., 2004) descobriu que, embora as limas Ni-Ti parecessem mais propensas à fraturas que limas de aço inoxidável, suas taxas de fratura eram muito semelhantes, as limas de aço inoxidável

apresentaram frequência de fratura de 1,6% e as limas Ni-Ti de apenas 1 %. Muitos fatores podem implicar na falha dos instrumentos endodônticos rotatórios, incluindo as próprias propriedades das ligas, o design do instrumento, a velocidade de rotação, o torque, o número de usos, o método de esterilização, o método de uso, a eficiência do operador e a raiz anatomia do canal. Além disso, existem vários fatores que podem afetar a resistência à fadiga cíclica de uma lima, como o raio da curvatura e o ângulo da curvatura do canal, o comprimento da raiz, o diâmetro do instrumento e o desenho do instrumento (Ghattas e Hoen, 2015; Camps e Pertot, 1995).

A rigidez do instrumento é um fator importante para o desempenho clínico dos instrumentos rotatórios porque afeta a eficiência de corte e a distribuição do estresse. No entanto, as propriedades de rigidez de um sistema de limas parecem ser contrárias aos requisitos de desempenho de torção e flexão. A rigidez de torção elevada é desejável para melhorar a eficiência de corte e reduzir o risco de falha por torção, enquanto a baixa rigidez de flexão é desejada em canais curvos para evitar o desvio do canal e reduzir a fadiga cíclica. A menos que um design ótimo possa ser criado, que combine alta rigidez torcional e capacidade de flexão, os instrumentos rotatórios Ni-Ti com características mecânicas diferentes podem ter que ser usados de acordo com as condições específicas de um canal radicular (Baek et al., 2011).

De acordo com Thompson (2000), a resistência à tração dos fios de Ni-Ti aumentou com a diminuição da área da secção transversal e também apareceu mais dúctil com o aumento da área da secção transversal.

3.2 Secção Transversal

3.2.1 Configurações da secção transversal das limas

Os instrumentos endodônticos apresentam secção transversal com diferentes formatos, podendo ser o mesmo em todo o comprimento ou variar ao longo da haste de corte do instrumento. Vários fatores, como o desenho transversal, a composição química da liga e as técnicas de fabricação de instrumentos endodônticos, poderiam ter um efeito significativo no desempenho clínico e na resistência à fratura (Elsaka et al., 2017). A secção transversal de um instrumento influencia sua eficiência de corte (Camps e Pertot, 1995).

De acordo o número de arestas laterais de corte da secção transversal do instrumento pode variar de um a cinco.

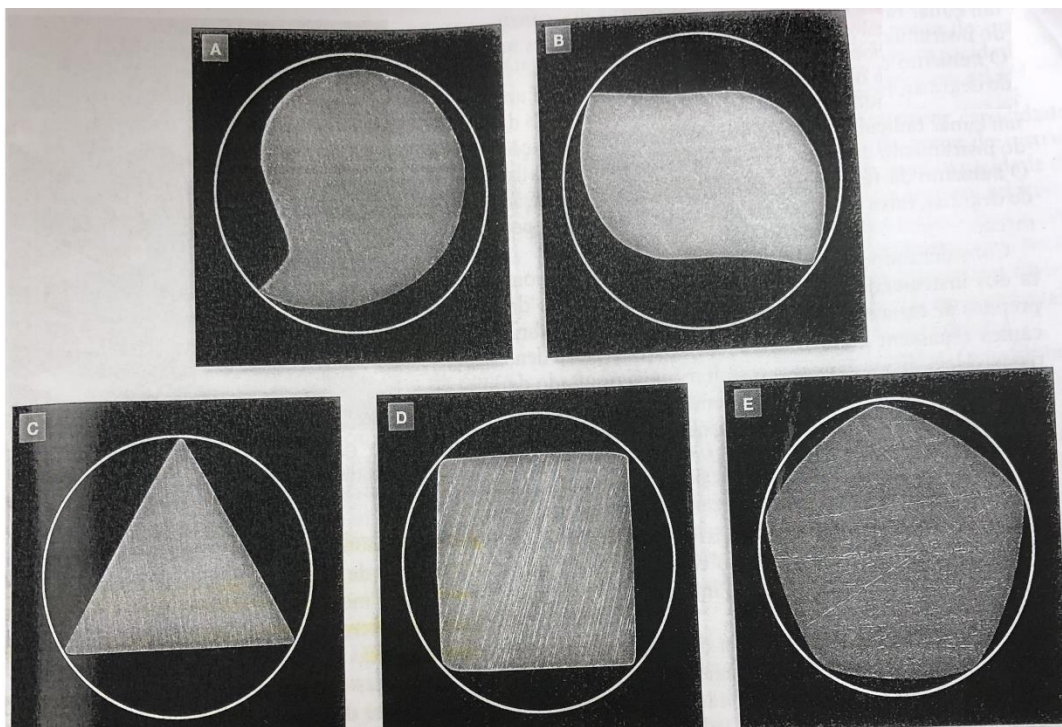


Figura 1: Na imagem podemos ver diferentes cortes de secção transversal com variados números de aresta lateral de corte. **A**, Uma aresta. **B**, Duas arestas. **C**, Três arestas. **D**, Quatro arestas. **E**, Cinco arestas (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

O formato da secção transversal é formado pelas intersecções das linhas das paredes dos canais contíguos. Estas linhas podem ser retas, côncavas, convexas e sinuosas. O desenho da secção transversal de um instrumento afeta: número de arestas laterais de corte que entram em contato com a dentina; o diâmetro do núcleo que afeta flexibilidade do instrumento; a profundidade do sulco (Lopes e Siqueira Junior, 2004). Instrumentos com canais com paredes côncavas ou retas apresentam valores menores quanto à área da secção e ao diâmetro do núcleo, possibilitando assim maior flexibilidade ao instrumento.

As formas de secção transversal mais comumente encontradas são as quadrangulares, triangulares, circulares e romboidais. Mais recentemente, outras

configurações de secção transversal foram introduzidas, por exemplo, as secções em forma de U ou guia radial. A forma de U é basicamente triangular, porem os vértices do triângulo são planos para produzir uma superfície com maior contato na parede do canal.

A configuração do desenho transversal tem um efeito demonstrável na resistência ao esforço de torção. Contudo, segundo (Leonardo e Leonardo, 2002), quanto maior o diâmetro da secção transversal do metal, mais este metal estará sujeito à fadiga cíclica.

Leonardo e Leonardo, 2002 citou que estudos anteriores avaliaram as propriedades físicas do Ni-Ti e concluíram que as limas de número 15 e secção transversal triangular fabricadas pela liga de Ni-Ti, apresentavam duas ou três vezes mais flexibilidade, bem como maior resistência a fratura por torção, quando comparadas às limas de aço inoxidável do mesmo número e também a mesma secção transversal.

Alguns dos princípios básicos que anteriormente caracterizavam o design do instrumento endodôntico (por exemplo, a secção transversal triangular ou retangular do tipo K e a estrutura helicoidal do tipo H) foram abandonados em favor de novos conceitos de projeto (Baumann e Roth, 1999).

Os instrumentos com maior flexibilidade causam menos mudanças indesejáveis na forma de canais curvos do que aqueles com maior resistência à flexão, enquanto a rigidez torcional aumentada transfere as forças de corte rotacional de forma mais eficiente. As características efetivas de rigidez dos instrumentos Ni-Ti são determinadas pelo seu design geométrico específico e a secção transversal em particular foi identificada como um recurso de design importante para propriedades de torção e flexão (Kim, et al. 2009).

Em um estudo realizado por Baek et al., 2011, a rigidez torcional dos modelos de limas com uma secção transversal retangular foi maior do que para os modelos com secção transversal triangular, mesmo quando a área da secção transversal era a mesma ou se a área central do núcleo era menor. Os modelos de limas com áreas transversais maiores geralmente apresentaram maior rigidez torcional. No entanto, deve-se enfatizar que a área da secção transversal não deve ser usada como o único fator para avaliar a rigidez do instrumento, porque a forma da secção transversal causou uma redução na rigidez torcional do modelo triangular em comparação com o retângulo delgado, apesar de ter a mesma área. As secções transversais retangulares, mesmo com uma área de núcleo central menor, apresentaram rigidez torcional superior em comparação com uma secção transversal triangular.

A secção transversal é um fator determinante na concepção de distribuições de estresse nos instrumentos de Ni-Ti. Vários estudos mostraram que o comportamento mecânico dos instrumentos durante a formação do canal radicular é diretamente influenciado pela sua secção transversal. O design representa vários fatores que afetarão a distribuição do estresse, como a área da secção transversal, a profundidade dos sulcos helicoidais, a área do núcleo interno e a guia radial. À medida que a área do núcleo da secção transversal aumenta, o instrumento é mais resistente ao torque, também se observou que os instrumentos com diâmetros menores se fraturarão mais

facilmente quando testado em torção, conseqüentemente, várias secções transversais foram criadas (Kim et al., 2009).

Segundo Diemer e Calas (2004) as secções transversais U triplas geram tensões localizadas não só na linha de corte, mas também no centro do instrumento. Essas tensões são muito maiores que as exercidas em uma secção transversal de hélice tripla do mesmo tamanho e diâmetro, mas sem guias radiais planas.

Alguns estudos descobriram que a resistência à fadiga de vários instrumentos não pareceu ser afetada pelo design do instrumento, sugerindo que a área transversal ou a forma do instrumento não é o principal determinante da resistência à fadiga. No entanto, outros estudos sobre a fadiga cíclica sugeriram que um design transversal diferente parecia ser um fator determinante na resistência à fadiga cíclica de diferentes instrumentos (Plotino et al., 2012; El-Anwar et al., 2016).

Os resultados do estudo de Camps e Pertot (1994) confirmaram os achados de estudos anteriores: o momento de flexão de um instrumento endodôntico dependia da sua massa metálica, os instrumentos endodônticos de secção transversal quadrada apresentavam maior momento de flexão do que os de secção transversal triangular. Uma lima de secção transversal triangular tem área ou massa de metal que é 37,5% menor do que uma lima com secção transversal quadrada do mesmo tamanho. Os instrumentos com uma secção transversal triangular foram mais eficazes do que os instrumentos com uma secção transversal quadrada.

No estudo de Ha et al. (2015) o efeito de parafusamento apical foi definida como a força apicalmente dirigida que atua na lima, cujo valor do instrumento com a secção transversal quadrada teve o valor mais alto, possivelmente devido ao maior número de arestas em contatos com a dentina. Comparando a configuração retangular e triangular do mesmo diâmetro do núcleo, o design triangular exibiu forças inferiores ao retangular. O design retangular, com a mesma área de secção transversal que o design triangular mas um diâmetro menor do núcleo, produziu uma força e um torque inferior. A secção transversal quadrada mostrou a maior força de parafusamento e de torque, seguido pela secção retangular, triangular, respectivamente.

Estudos anteriores calcularam a área da superfície da secção transversal de tripla hélice (como limas Hero 642) e das triplo-U (como na ProFile) e os esforços de flexão comparados nesses 2 instrumentos. A área de secção da lima tripla hélice foi aproximadamente 30% maior do que a da triplo-U. Esta secção transversal maior determinou uma menor flexibilidade da lima Hero em comparação com o ProFile, o que pode explicar a sua fraca resistência à fadiga (Tripi et al., 2006). Os modelos de tripla hélice são, portanto, muito mais resistentes à torção e menos flexíveis que os modelos triplos-U. Os instrumentos triplos-U, que são extremamente flexíveis, mas possuem pouca força de torção, devem preferencialmente ser usados para canais onde há pouco atresia radicular (Turpin et al., 2000).

Para Kim et al. 2009, os diferentes desenhos transversais dos instrumentos Ni-Ti resultaram em diferentes respostas de deformação durante as forças de torção e flexão simuladas. Os instrumentos rotatórios Ni-Ti com secções transversais

retangulares em forma de S, como Mtwo, criaram valores de estresse mais elevados durante a modelagem simulada de canais curvos e sofreram mais estresse e deformação residuais do que os instrumentos ProFile e HeroShaper com secções transversais triangulares. Os designs de secção transversal retangulares podem ter um risco aumentado de fratura ou fadiga. Assim concluíram que as cargas de flexão de instrumentos Ni-Ti com formas de secções transversal retangulares eram menores do que aquelas com secções triangulares.

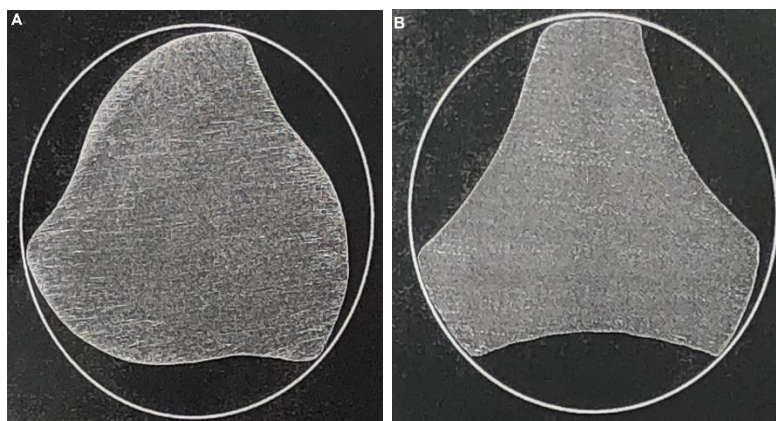


Figura 2: Na imagem podemos ver duas diferentes secções transversais. Na figura **A**, vemos a secção transversal de tripla hélice (instrumentos Hero642). Na figura **B**, vemos a secção transversal de triplo-U (instrumentos ProFile) (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

Segundo Zhang et al. (2010) quando o instrumento está submetido ao estresse máximo, os resultados indicaram que a secção transversal é o principal determinante das tensões geradas no instrumento. Em outros estudos que simularam o uso de instrumentos Ni-Ti de vários projetos em um canal radicular curvado, as tensões desenvolvidas no instrumento também foram diferenciadas significativamente para diferentes secções transversais. Isso provavelmente deve-se ao fato de que a concentração de estresse é dirigida pela forma do instrumento em vez da propriedade do material. Em resumo, pode-se concluir que certas configurações de secção transversal são mais propensas a falhas por sobrecarga torcional do que outras.

Versluis et al. (2012) demonstrou que as secções transversais triangulares mostraram uma maior flexibilidade do que as secções quadradas. As secções transversais quadradas apresentaram maior rigidez à flexão do que os outros desenhos testados. A área do núcleo mostrou uma correlação mais consistente com rigidez flexional do que a área da secção transversal.

Vários autores observaram que os instrumentos de secção transversal quadrada apresentam maior resistência à torção do que aqueles com a forma transversal triangular. Contudo, os instrumentos com secção transversal triangular são mais resistentes à fratura cíclica do que os instrumentos em forma quadrangular ou aqueles com secção transversal de tipo H (Schäfer e Tepel, 2001).

As modificações do desenho transversal de instrumentos endodônticos de quadrado a triangular ou romboidais resultaram em maior flexibilidade. No estudo de Schäfer e Tepel (2001) os protótipos em forma de rombo exibiram os valores de flexão mais baixos. A explicação para este comportamento é a diminuição de 35% na área de

superfície da secção transversal pela mudança de quadrado para triangular e outros 5% pela mudança de secção triangular para romboidal.

3.2.2 Aresta Lateral de Corte

A aresta lateral de corte pode apresentar a forma de filete ou guia radial. O formato de filete é originado pelo encontro de duas superfícies de canais que se encontram. O formato de guia radial é criado pela convergência de duas superfícies de canais que se encontram, porém com o vértice cortado. Quanto menor a espessura da aresta, mais facilidade a aresta terá para cortar. Assim uma aresta mais fina facilita sua penetração no material a ser cortado. Por outro lado, o instrumento terá a resistência desta aresta cortante diminuída podendo danificá-lo mais facilmente por causa da pressão aplicada para executar o corte da dentina. Quanto mais espessa for a aresta cortante, mais rapidamente o instrumento perde a capacidade de corte. Com a perda da capacidade de corte, aumenta-se a força aplicada ao instrumento podendo induzir a sua fratura por torção (Lopes e Siqueira Junior, 2004).

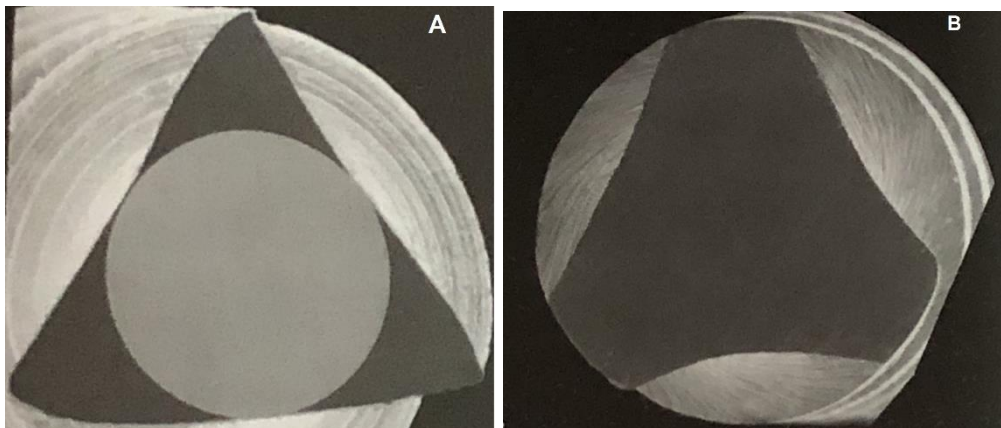


Figura 3: Na imagem vemos duas secções transversais diferentes, na figura **A** podemos ver a aresta lateral de corte com formato de “filete” e na imagem **B** a aresta lateral de corte com formato de “guia radial” (Lopes e Siqueira Junior, 2004).

A guia radial tem como objetivo manter o instrumento centralizado em relação ao eixo do canal radicular durante o corte na dentina. A porção posterior da guia radial é rebaixada para diminuir a área de contato entre o instrumento e as paredes do canal radicular, ela é chamada de superfície de folga, isso diminui o atrito e reduz a possibilidade de geração de calor durante a rotação do instrumento no interior do canal radicular. Os defensores da guia radial afirmam que esse design é efetivo em manter a lima centrada, enquanto os defensores do filete afirmam que essa engenharia permite menor resistência à fricção. A possibilidade de transportar um canal radicular com um instrumento rotativa com uma ponta não cortante e guias radiais é mínima (Koch e Brave, 2002).

Segundo Leonardo e Leonardo (2002) a guia radial proporciona um plano de contato do instrumento com a parede do canal radicular. Esse plano de contato impede que o instrumento se imbrique nas paredes do canal radicular quando pressionado em direção ao ápice e permite que, ao se rotacionar no canal, deslize pelas paredes dentinárias, proporcionando função de alargamento e não de limagem e concorrendo para menor risco de fratura. A guia radial também permite que o ângulo de corte desses instrumentos seja levemente negativo, fazendo com que o desgaste não seja tão intenso. A compensação na perda do poder de corte é feita pelo aumento da velocidade com que os instrumentos rotatórios atuam.

Os resultados do estudo de Tripi et al., (2006) mostraram que a área da secção transversal e a guia radial provaram ser importantes para propriedades de flexão. De fato, as propriedades de flexão foram inversamente proporcionais à área transversal. Como esperado, os instrumentos com menor área de secção transversal apresentaram melhores resultados em termos de resistência à fadiga cíclica.

Para Bürklein et al., (2012) estudos anteriores mostraram que as guias radiais tendem a queimar a dentina cortada na parede do canal radicular e que os instrumentos Ni-Ti com lâminas ativas de corte são superiores aos instrumentos com guias radiais em relação à capacidade de remoção de detritos

Uma secção transversal em forma de U com guias radiais possuem amplas áreas de contato e pode dar origem a torques mais altos podendo levar a fratura mais rapidamente, o que pode não ocorrer em instrumentos com diferentes projetos de secção transversal (Bahia et al., 2006).

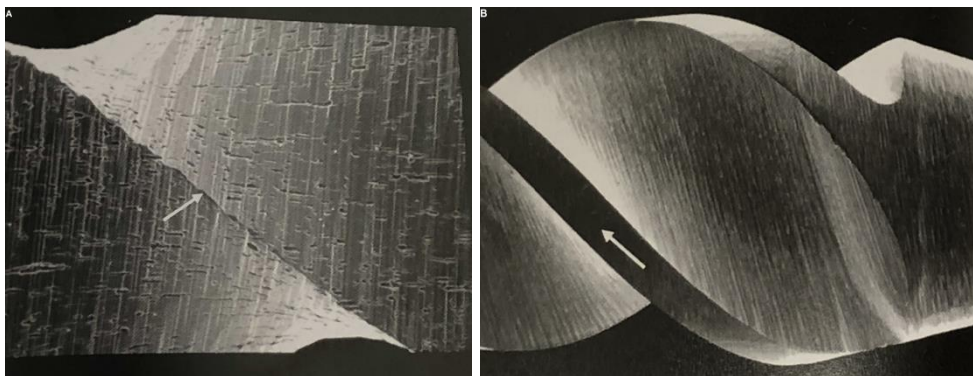


Figura 4: Na imagem vemos duas hastes de cortes diferentes, na figura **A** podemos ver a aresta lateral de corte com formato de “filete” e na imagem **B** a aresta lateral de corte com formato de “guia radial” (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

O ângulo de corte presente na aresta da secção transversal é uma característica importantíssima para o desempenho do instrumento. Ele é formado pela aresta lateral de corte e o raio até o centro do núcleo quando a lima é cortada perpendicularmente na haste de corte, os ângulos de corte positivos cortam de forma mais eficiente a dentina do que os ângulos de corte neutros, que raspam o interior do canal. Quanto maior o ângulo de corte positivo, mais agressivo será o potencial de corte. A velocidade de corte e as características geométricas de uma ferramenta de corte, em particular o ângulo de inclinação, são as variáveis mais importantes que determinam suas propriedades de corte (19). (Koch e Brave, 2002; Peixoto et al., 2015).

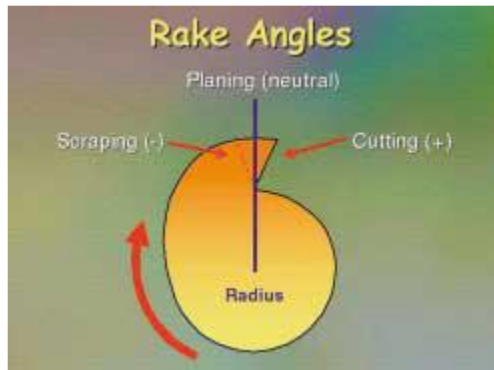


Figura 5: Ilustração de uma seção transversal mostrando um ângulo de corte positivo (+), neutro (neutral) e negativo (-). (Koch e Brave, 2002).

Vários autores sugerem que o ângulo de corte positivo aumenta a eficácia de corte de um instrumento endodôntico. Porém, é preciso lembrar que a capacidade de corte de um instrumento, além do ângulo de corte, depende vários outros fatores que envolvem desde o formato geral da lima, até a liga metálica usada na sua fabricação. A característica de grande elasticidade da liga de Ni-Ti não oferece ao vértice da aresta lateral de corte de um instrumento endodôntico com ângulo de corte positivo resistência à deformação elástica quando em contato com a parede dentinária do canal radicular. Sendo assim, durante o corte, a aresta de corte do instrumento é rebatida por uma deformação elástica induzindo menor desgaste do material a ser cortado (Lopes e Siqueira Junior, 2004).

A importância dos ângulos de corte na literatura endodôntica ainda não foi claramente definida. Existem referências que sugerem que o ângulo de corte positivo aumenta a eficiência de corte e, portanto, leva menos energia para cortar a dentina. No entanto, não há estudos que garantem que o ângulo de corte como a única variável que afeta a eficiência de corte.

Para Koch e Brave (2002), a maioria das limas endodônticas convencionais utilizam um ângulo de inclinação negativo ou neutro. Um ângulo de inclinação negativo é menos agressivo, mas a eficiência de corte do instrumento também é afetada. No entanto, muitos praticantes acreditam que o ângulo de inclinação ideal é, de fato, um pouco positivo, mas não excessivamente positivo. Um ângulo de inclinação excessivamente positivo resultará em cavar a dentina. Isso pode levar à fratura.

Chow et al. (2005) relataram que não existem padrões claros que determinam a eficácia de corte das limas endodônticas. Os ângulos de corte definidos pelo formato da seção transversal das limas afetam fortemente a eficiência de corte do instrumento.

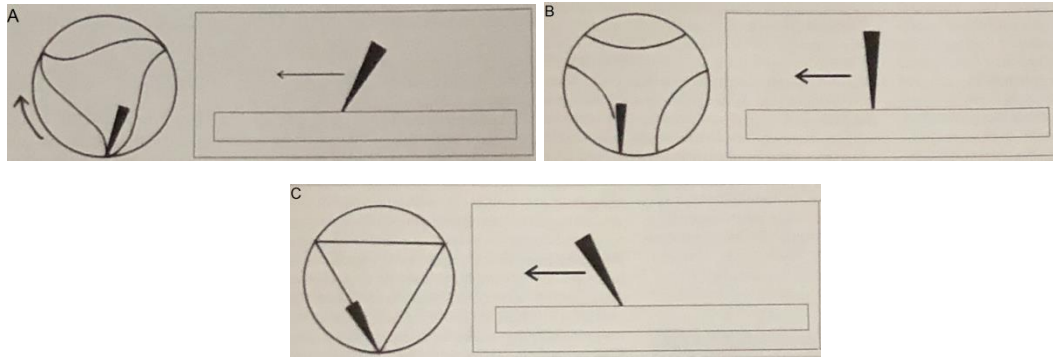


Figura 6: Nas imagens vemos os diferentes tipos de ângulo de corte, na imagem **A** mostra uma secção transversal com ângulo de corte positivo. Na imagem **B** mostra uma secção transversal com ângulo de corte neutro. Na imagem **C** mostra uma secção transversal com ângulo de corte negativo (Lopes e Siqueira Junior, 2004).

3.2.3 Canal Helicoidal

Segundo Lopes e Siqueira Junior (2004) o canal helicoidal é um sulco presente na haste de corte de um instrumento. É formada pelas faces das arestas de corte contíguas. Este canal pode apresentar faces côncavas, convexas ou sinuosas e é projetado para o transporte de resíduos originados do corte ou desgaste da dentina e pelo volume e passagem de solução química auxiliar da instrumentação. O formato e a profundidade do canal helicoidal variam em função da forma das paredes da superfície dos canais e pela área e diâmetro do núcleo.

O canal helicoidal foi modelado para permitir a remoção mais fácil dos resíduos da área de corte. (Leonardo, 2005).

Segundo alguns autores, instrumentos que apresentam canais helicoidais rasos devem ser removidos do interior de um canal radicular com maior frequência. Em geral, pode-se especular que quanto menor é a profundidade do canal helicoidal de um instrumento, menor será a capacidade de remoção de detritos (Bürklein et al., 2012).

Segundo Leonardo e Leonardo (2002) a origem dos instrumentos de Ni-Ti permitiu confeccionar secções transversais com sulcos que atuam como área de escape, recebendo raspas de dentina, consequentes da instrumentação do canal radicular.

A superfície da secção transversal é um fator importante durante o tratamento endodôntico. Se a lima ocupa quase todo o volume interno do canal os detritos de dentina originados pela instrumentação não podem então ser eliminados coronariamente, uma vez que o espaço disponível para a eliminação coronal de detritos é limitado, com isso as lascas de dentina são pressionadas apicalmente e levam à perda de comprimento de trabalho (Camps e Pertot 1994).

De acordo Wan et al. (2010), alguns autores relataram que uma secção transversal menor cria mais espaço entre o instrumento e as paredes do canal. Este espaço extra permite maior coleta de detritos, o que facilita a sua remoção. As secções transversais

maiores podem não fornecer espaço suficiente para que os detritos sejam deslocados. Como tal, os detritos impedem o instrumento de cortar mais dentina.

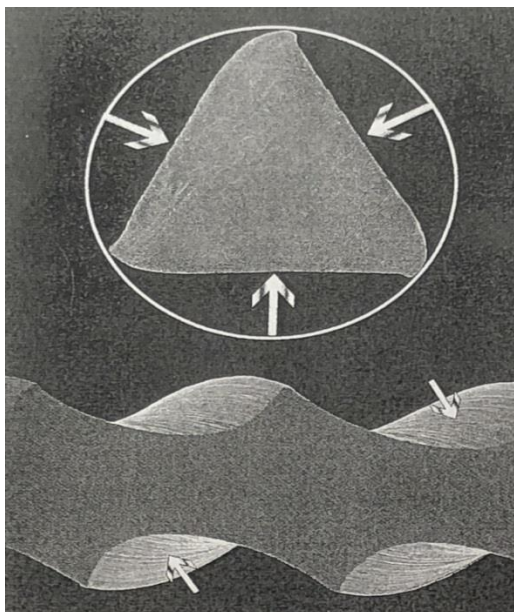


Figura 7: Na imagem, as setas apontam os canais helicoidais presente na secção transversal reta da haste de corte (imagem superior) e os canais helicoidais presente na secção longitudinal da haste de corte (imagem inferior) (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

3.2.4 Núcleo da Secção Transversal

O núcleo da secção transversal de um instrumento de corte é a área central do mesmo e sua forma é representada por um círculo tangenciando o fundo dos canais do instrumento endodôntico. Com o aumento da conicidade da haste de corte, haverá aumento da massa metálica do núcleo levando à redução da flexibilidade do instrumento. Podendo gerar assim desvio nos preparos dos canais. O diâmetro do núcleo, além de interferir na flexibilidade, também determina a profundidade do canal helicoidal na haste de corte. (Lopes e Siqueira Junior, 2004).

Foi mostrado que se o núcleo da secção transversal do instrumento for maior, a lima será mais resistente ao estresse torcional. Um instrumento com núcleo central menor poderia ter uma rigidez torcional maior do que um instrumento com um núcleo central maior devido ao formato da secção transversal (retângulo delgado versus triângulo, respectivamente). Portanto, uma observação de Xu et al. (2006) é que as limas com área de núcleo interno menor terá menor rigidez torcional não pode ser generalizada. É possível que os resultados foram causados por diferenças na área transversal total ao invés da área do núcleo interno. No entanto, é importante notar que as áreas transversais dos modelos de retângulo delgado e triângulo neste estudo foram as mesmas. Portanto, a secção transversal parece ser o fator mais dominante para a rigidez torcional do que o tamanho do núcleo central (Baek et al., 2011).

A rigidez dos instrumentos endodônticos depende do metal de que são feitos, do processo de fabricação e da sua massa metálica, ou seja, tamanho e secção transversal. A rigidez dos instrumentos endodônticos também pode diminuir ao

diminuir a área da secção transversal (Camps e Pertot, 1994). Um aumento no diâmetro do instrumento e o aumento correspondente na área da secção transversal podem contribuir para aumentar a resistência à falha de torção (Parashos e Messer, 2006).

Muitas características físicas dos instrumentos rotatórios de Ni-Ti podem influenciar sua resistência à fadiga. Estudos anteriores mostraram que existe uma forte relação entre a resistência ao esforço torcional e o diâmetro dos instrumentos. Como o princípio da mecânica determina que o estresse em qualquer ponto de uma estrutura é inversamente proporcional à sua distância radial ao centro da secção transversal, qualquer instrumento com um pequeno diâmetro do núcleo seria propenso a sobrecarga de torção. Parece que os instrumentos com secção transversal que distribui o estresse torcional bem seria mais adequados para uso em canais atrésicos, em que existe uma situação de reação de alto estresse no material (Zhang et al., 2010). Essas descobertas indicam que a resistência ao torque de uma lima pode ser aumentada, aumentando o núcleo interno da secção transversal (Xu et al., 2006).

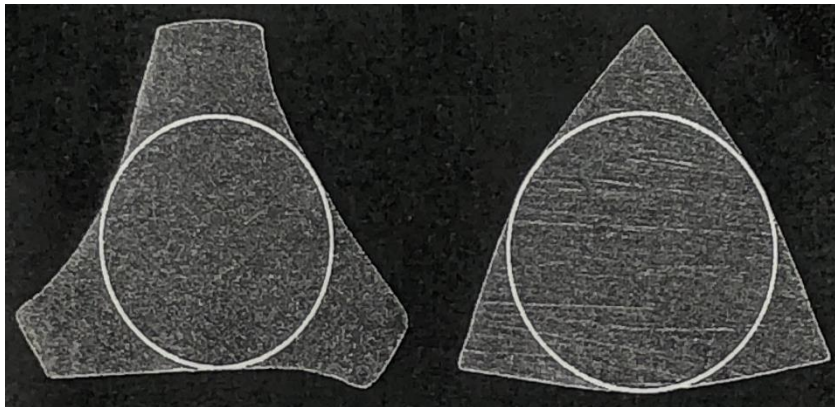


Figura 8: Na imagem vemos 2 secções transversal e seus respectivos núcleos. (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

3.3 Design das Limas Endodônticas

3.3.1 Limas Manuais

- **Limas Tipo K**

As limas K são produzidas por torção de uma haste cônica de aço inoxidável. Sua secção transversal apresenta forma quadrangular, sendo assim, possui quatro arestas laterais de corte, tendo a capacidade de cortar as paredes do canal radicular quando usadas em rotação (Leonardo, 2005). O perfil da superfície do canal é reto e o perfil da aresta de corte apresenta a forma de filete, resultante da intersecção das paredes de canais contíguos. Esta lima apresenta menor risco de fratura por torção devido à maior massa de seu núcleo, consequentemente diminuindo sua flexibilidade. As limas tipo K têm indicações de serem usadas na instrumentação de canais retos, por serem produzidas de aço inoxidável apresentam pequena flexibilidade. Logo, o seu uso deve ser evitado em canais radiculares curvos (Lopes e Siqueira Junior, 2004).

Em um estudo realizado por al-Omari MA et al. (1992a) já se via que era cada vez mais óbvio que a lima tipo K, com design quadrado de secção transversal, ponta de corte afiada e falta de flexibilidade, não é o instrumento ideal para moldar canais radiculares. Na verdade, uma série de relatórios descreveu que as limas K produzem zips, degraus e outras iatrogenias do canal com grande frequência.

Os resultados do estudo de Camps e Pertot (1995) confirmam as pesquisas anteriores, que mostraram que os instrumentos endodônticos são mais eficientes quando têm uma secção transversal triangular do que quando eles têm uma secção transversal quadrada. No estudo de Camps JJ e Pertot (1994), os instrumentos de secção quadrado tipo K apresentaram um momento de flexão maior do que a secção transversal em formato romboide K Flex, que apresentou maior momento de flexão do que os K flexíveis de secção transversal triangular.

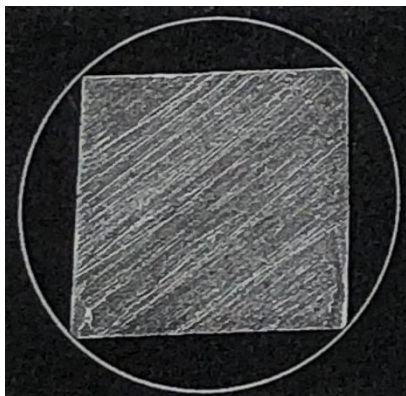


Figura 9: Na imagem vemos a secção transversal quadrada da lima tipo K de aço inoxidável (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas Tipo K Flexíveis**

As limas K flexíveis são similares às limas K exceto no desenho da sua secção transversal, que podem ser triangular ou quadrangular mais elaborada, permitindo assim sua maior flexibilidade. Além disso, elas podem ser confeccionadas em liga de NiTi, que são mais flexíveis quando comparado ao aço inoxidável. Geralmente são utilizados para instrumentação de canais radiculares com curvas moderadas e acentuadas e não para exploração em profundidade (Leonardo, 2005; Dearing et al., 2005). As limas tipo K flexíveis, como esperado, tem o maior grau de flexão porque é construída a partir de uma liga de Ni-Ti.

Segundo al-Omari et al. (1992b) os resultados obtidos de seu estudo foi a capacidade das limas tipo K flexíveis para preparar canais com curvas de rapidamente. Ele reflete sua maior flexibilidade em relação a alguns dos instrumentos mais comuns, em particular as limas K tradicionais.

Limas tipo K flexíveis fraturaram com menos frequência em canais, confirmando sua natureza flexível e capacidade de aprofundar com segurança em torno de curvas extremas e difíceis (al-Omari et al., 1992a).

No estudo de Camps JJ e Pertot (1995), os instrumentos tipo K flexíveis com uma secção transversal triangular foram de duas a cinco vezes mais efetivas do que os instrumento tipo K convencionais com uma secção transversal quadrada. Os instrumentos com secção transversal triangular, foram mais resistentes à fratura do que outras limas tipo K de aço inoxidável. A influência das propriedades mecânicas da secção transversal esta de acordo com análises teóricas relatadas por pesquisadores anteriores (Haikel et al., 1991).

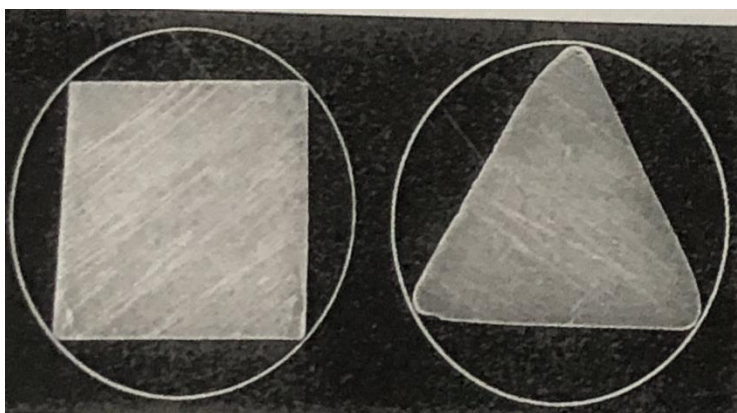


Figura 10: Na imagem vemos a secção transversal quadrada e triangular da lima tipo K flexível (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas Hedstrom**

As limas hedstrom são produzidas por usinagem de uma haste cônica que apresenta secção transversal circular. A usinagem produz uma espiral cônica sob a forma de cones superpostos. A haste de corte das limas hedstrom apresenta secção transversal em forma de vírgula, resultando em apenas uma aresta lateral de corte e este instrumento corta somente em movimento de tração no canal radicular, pois em sentido de rotação pode fraturar facilmente devido ao pequeno diâmetro de seu núcleo. Geralmente são utilizados para alargamento coronário dos canais radiculares, e para remoção de instrumentos fraturados e cone de guta-percha nos casos de retratamentos, não tendo função de exploração em profundidade dos canais radiculares. (Leonardo, 2005; Lopes e Siqueira Junior, 2004).

No estudo realizado por al-Omari et al. (1992b) os instrumentos Hedstrom causaram o desgaste excessivo da parede do canal na região da furca e isto é um problema sério e pode resultar em perfuração. Isso sugere que, em uma proporção elevada de tais canais, o operador não conseguiu controlar adequadamente a ação dos instrumentos, e isso implica que o uso desses instrumentos em canais severamente curvos não é recomendável. A criação de zips e o alongamento excessivo ao longo da parede interna das curvas são resultados do desvio causado pela ação de corte indiscriminada e descontrolada das limas em canais curvos.

A lima Hedstrom foi considerada o instrumento de corte mais eficiente. O design do ângulo de corte é agressivo e o grande ângulo helicoidal confere uma vantagem significativa na lima Hedstrom isso explica por que é recomendada para uso em situações que exigem a remoção rápida de tecido. Entre todos os instrumentos manuais testados, limas K convencionais e flexíveis, as limas Hedstrom permitiram uma preparação significativamente mais rápida dos canais do que os outros instrumentos. (al-Omari et al., 1992a).

O processo de usinagem de uma haste com secção transversal redonda e dá as limas Hedstrom uma aparência frágil. (Bolger et al., 1985). Uma vez que esses instrumentos são usinados e criando secção em corte circular, estas que possuem arestas bem afiadas. Usados em movimento de limagem, eles são muito mais eficientes do que as limas tipo K.

Segundo Schäfer (1997), comparado com instrumentos com dois ou três sulcos espirais, como limas S ou U com seu design de dupla hélice, as limas Hedstrom exibem a melhor eficiência de corte em movimento de limagem.

No estudo de al-Omari et al. (1992a) também foi apontado a fragilidade das limas Hedstrom, particularmente nos tamanhos menores, impossibilitando ainda mais o seu uso em canais curvos.

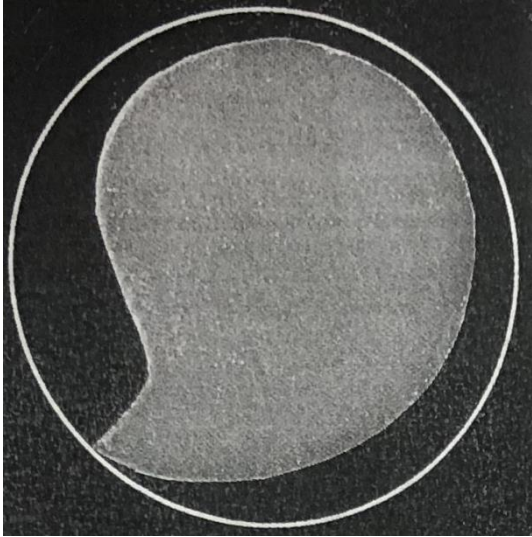


Figura 11: Na imagem vemos a secção transversal em forma de “gota” do instrumento Hedstrom, nota-se a presença de apenas uma aresta lateral de corte (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas Hi-5® (Miltex, EUA)**

Os instrumentos Hi-5 apresentam secção transversal em formato pentagonal, sugerindo maior massa de núcleo do que instrumentos com secção transversal quadrangular de tamanho semelhante e conicidade. O desenho transversal do instrumento fornece elevada rigidez, força e capacidade de corte. A geometria do instrumento, a espessura da secção transversal e as propriedades do metal do qual um instrumento é construído devem determinar o grau de rigidez. O instrumento Hi-5 foi criado para "trabalhar mais agressivamente" e "exigir mais força, especialmente na remoção". Allen MJ, et al 2007

No estudo de Allen MJ, et al 2007, o Hi-5 foi o instrumento que menos flexionou, o passo das espirais de um instrumento deve ser levado em consideração em um instrumento de cateterismo, porque influência em sua flexibilidade. Por ser o qual apresenta mais espirais e o núcleo de maior massa, pode ter influenciado na sua baixa flexibilidade Allen MJ, et al 2007

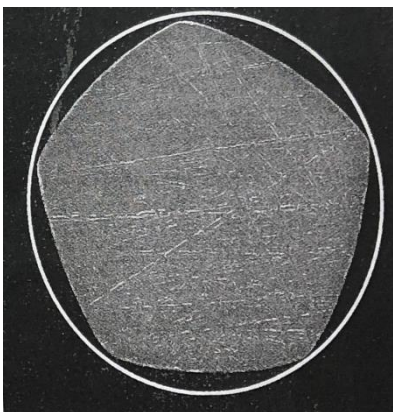


Figura 12: Na imagem vemos a secção transversal pentagonal dos instrumentos Hi-5, nota-se o grande volume do núcleo central (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas C-Pilot®** (VDW, Alemanha)

São fabricadas a partir da torção de uma haste de aço inoxidável com secção transversal quadrangular. Esta lima é usada para exploração do canal radicular curvos ou com atresias (cateterismo). Elas apresentam pequenos diâmetros, pequenas conicidades e propriedades mecânicas que permitam seu avanço no sentido apical com segurança e eficiência, apresentando baixo índice de desvio radicular devido sua capacidade de flexão. (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

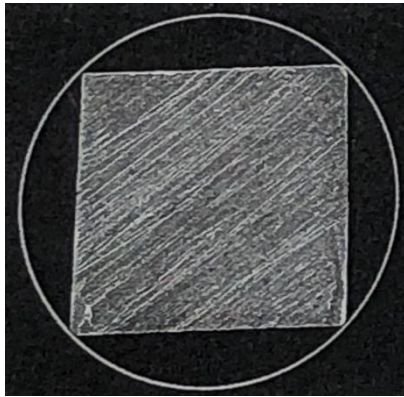


Figura 13: Na imagem vemos a secção transversal quadrangular dos instrumentos C-Pilot (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

3.3.2 Limas Mecanizadas

- **Limas Reciproc®** (VDW, Alemanha)

As limas Reciproc têm sua secção transversal em forma de S com duas arestas de corte afiadas e dois canais helicoidais, garantindo flexibilidade, corte e ótima remoção de detritos. As lâminas não apresentam guia radial e são projetadas para cortar no sentido anti-horário com movimento recíprocante (Elsaka e Elnaghy, 2017; Cassim, 2014). A maior área de secção transversal apresenta maior resistência à torção, sendo assim o design do instrumento, incluindo a forma de secção transversal e os diâmetros do núcleo, teriam um impacto substancial na resistência à torção e flexão (Zhang et al., 2010; Lopes e Siqueira Junior, 2015).

Em um estudo realizado por Elsaka e Elnaghy (2017), o instrumento Reciproc teve maior resistência à torção do que os instrumentos Twisted File Adaptive. Isso pode ser explicado pelo aumento no diâmetro do núcleo do instrumento. O design triangular da secção transversal do Twisted File Adaptive pode resultar em uma alta concentração de tensão, enquanto que o design em forma de S da Reciproc produz um diâmetro de núcleo interno maior. A área de secção transversal de Reciproc (aproximadamente $129.136 \mu\text{m}^2$) é maior do que a área do Twisted File Adaptive (aproximadamente $24.491 \mu\text{m}^2$), o que poderia explicar sua maior resistência à torção.

Estudos anteriores confirmaram que os instrumentos com seções transversais em forma de S foram associados com eficiência de corte melhorada. Outro atributo importante dos instrumentos é a remoção de detritos para liberar as lâminas de corte entupidas. As seções transversais em forma de S permitem mais espaço entre as paredes do canal e o instrumento (Wei et al., 2017).

As lâminas não apresentam guia radial e são projetadas para cortar no sentido anti-horário com movimento recíprocante (Cassim, 2014).

Quando comparamos os instrumentos semelhantes com diferentes cinemáticas (Reciproc, WaveOne e ProTaper Universal), o instrumento Reciproc removeu mais dentina do que o ProTaper Universal, ao passo que o WaveOne apresentou desempenho similar com Reciproc e ProTaper Universal. Apesar dos instrumentos WaveOne e Reciproc terem várias similaridades (mesma liga, movimento recíprocante e o tamanho da ponta), seus diferentes designs da seção transversal podem explicar esses resultados. Uma vez que a seção transversal do WaveOne apresenta seção transversal modificada com guias radiais na ponta (Capar et al., 2014).

O formato fixo da seção transversal do Reciproc pode ser uma das variáveis que influencia no tempo de trabalho (Machado et al., 2012).

Segundo Plotino et al. (2014), o Reciproc R25 demonstrou maior eficiência de corte do que as limas WaveOne Primary, que pode ser explicada pela seção transversal e ângulo de corte mais positivo. Além do design de seção transversal, a capacidade de remoção de detritos também determina a eficiência de instrumentos mecânicos porque a remoção de lascas de dentina cortada é importante para reduzir o entupimento das lâminas de corte, pois a seção transversal menor do Reciproc cria mais espaço entre o instrumento e as paredes do canal, o que pode permitir a coleta e a capacidade de remoção de detritos. Os instrumentos Reciproc R25 resistiram à fadiga cíclica significativamente mais do que a limas WaveOne Primary. Essas diferenças podem estar relacionadas ao design transversal diferente dos dois instrumentos (Plotino et al., 2012).

Segundo Corrêa (2015), estudos anteriores avaliaram um total de 44 instrumentos, dentre estes, 20 instrumentos Reciproc R25 e 20 WaveOne Primary e relataram que, devido à sua seção de corte em “S”, o instrumento Reciproc R25 apresenta, de forma estatisticamente significativa, uma maior flexibilidade, a qual diminui consideravelmente o risco de fratura do instrumento, no entanto se o instrumento for reutilizado ou utilizado diferente das instruções do fabricante, o risco de fratura ou deformação do instrumento é elevado.

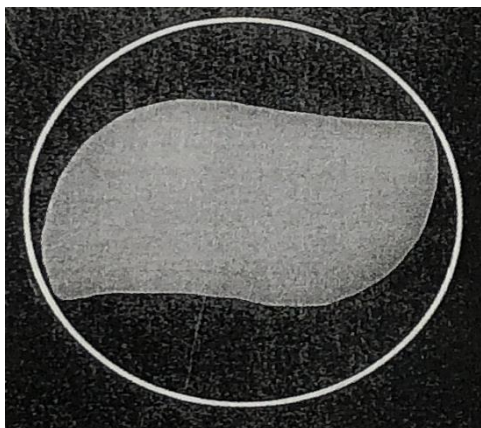


Figura 14: Na imagem vemos a secção transversal em formato de “S” dos instrumentos Reciproc (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas WaveOne®** (Dentsply Tulsa Dental Specialities, EUA)

Os instrumentos WaveOne apresentam secção transversal triangular com paredes côncavas na ponta e uma secção transversal triangular convexa na porção central e coronal do instrumento, permitindo maior flexibilidade apical e maior resistência na região cervical e médio do canal radicular. (Elnaghy e Elsaka, 2015; Lopes e Siqueira Junior, 2015).

Segundo Magalhães et al. (2016), no estudo realizado não foram observadas diferenças estatisticamente significantes na resistência à torção entre os instrumentos Reciproc e WaveOne, embora os dados sugere uma maior resistência à torção para os instrumentos WaveOne. Isso pode ser explicado pela forma geométrica do instrumento como o diâmetro e a área a 3 mm da ponta, além do processo de fabricação, o que podem ter impacto no comportamento clínico desses instrumentos. Embora os 2 sistemas de instrumentos recíprocos sejam feitos da mesma liga (M-wire), eles apresentam diferentes secções transversais.

Estudos mostram que a maior área de secção transversal teria maior rigidez de flexão e resistência à torção e, portanto, o desenho do instrumento (forma de secção transversal, diâmetros do núcleo, etc.) teria uma influência significativa sobre a torção e resistência à flexão. A partir de nossos resultados experimentais, o instrumento Reciproc apresentou maior resistência à flexão, mas menor resistência à torção do que o instrumento WaveOne. (Kim et al., 2012)

De acordo com Plotino et al. (2014) a área da secção transversal triangular maior presente nos instrumentos WaveOne pode não fornecer espaço suficiente para que os detritos sejam deslocados, reduzindo assim sua capacidade de corte em comparação com o Reciproc.

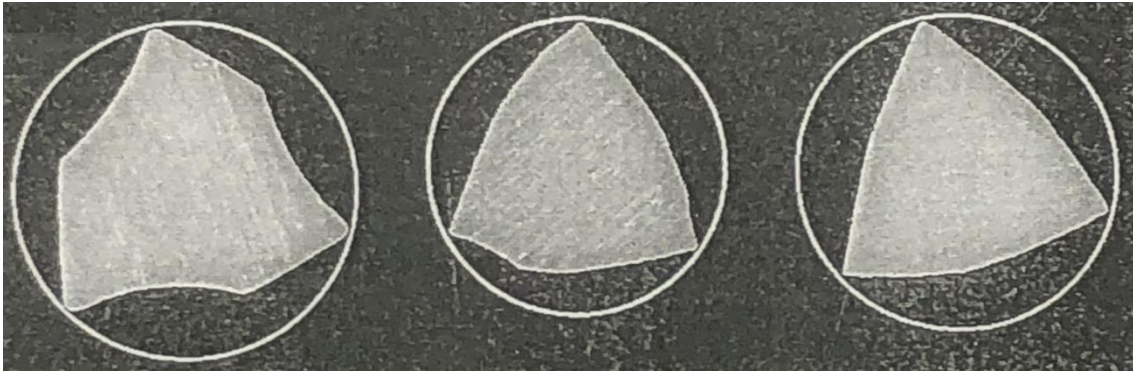


Figura 15: Na imagem vemos a secção transversal com diferentes formatos presentes na haste de corte dos instrumentos WaveOne, na ponta, triangular com paredes côncavas, na região próxima ao intermediário, triangular com paredes convexas (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas RaCe®** (FKG Dentaire, Suíça)

Apresenta secção transversal triangular ou quadrangular, dependendo do número e conicidade da lima. As limas de menor número e taper reduzido apresentam secção transversal quadrangular para aumentar a sua resistência. O sistema apresenta instrumento para todos os tipos de canais. (Lopes e Siqueira Junior, 2015). Devido aos seus ângulos helicoidais alternados e às arestas de corte que são quase paralelas ao seu eixo longitudinal, há uma menor probabilidade de efeito de parafusamento durante a instrumentação e diminuição do torque de trabalho. (Burkhardt et al., 2016; Rubio et al., 2015; García et al., 2012; Vadhana et al., 2014).

Segundo García et al. (2012), especula-se que as guias radiais são efetivas reduzir o desvio do canal porque ajudam a distribuir a pressão das lâminas de corte de forma mais uniforme em torno da circunferência de um canal curvo. Isso contrasta com instrumentos que não apresentam guias radiais, assim focalizam toda a pressão das arestas de corte na parede do canal e tendem a endireitar a curvatura. Seus resultados mostraram que tanto os instrumentos RaCe quanto instrumentos que apresentam guia radial não produziram quantidades significantes de desvio apical. Isso pode ser explicado pelo fato dos instrumentos RaCe serem mais flexíveis e menos desvios ocorrem com instrumentos mais flexíveis. A maior flexibilidade das limas RaCe pode ser atribuída ao design de sua secção transversal.

De acordo com Schäfer e Oitzinger (2008), os instrumentos RaCe com uma secção transversal triangular estão associados a uma eficiência de corte aprimorada e foi confirmada em estudos anteriores. Além do design da secção transversal, a capacidade de remoção de restos de dentina também determina a eficiência dos instrumentos rotatórios, pois esta remoção é importante para reduzir o entupimento das lâminas de corte. Devido ao seu pequeno diâmetro do núcleo, tanto os instrumentos Mtwo como os RaCe são caracterizados por uma excelente capacidade de remoção de restos de dentina das lâminas de corte.

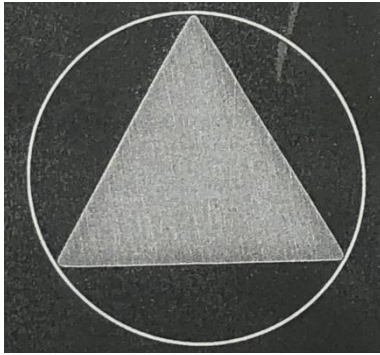


Figura 16: Na imagem vemos a secção transversal dos instrumentos RaCe. (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas K3®** (Sybron Dental Specialities, México)

Apresenta secção transversal triangular modificada. Três guias radiais e três canais helicoidais. Os perfis das paredes dos canais são sinuosos (côncavos e convexos). É indicada principalmente para canais curvos devido sua alta flexibilidade, apresenta baixo índice de alterar o caminho original do canal radicular.

Este instrumento apresenta três diferentes ângulos de corte positivo, com três superfícies radiais amplas e variação no diâmetro do núcleo, Isso resulta em uma eficiência de corte ideal (Lopes e Siqueira Junior, 2015; Koch e Brave, 2002).

A ampla superfície radial, confere ao instrumento maior massa na região de maior estresse no contato com a dentina, otimizando a resistência e o poder de corte. Segundo Chow et al. (2005), os ângulos de corte positivo aumentam a eficiência de corte do instrumento. Atrás dessa massa de superfície radial, encontra-se uma ampla área de escape, ampliando a ranhura e assim proporcionando melhor eficiência no acúmulo e remoção de raspas de dentina (Leonardo e Leonardo, 2002).

Alguns autores relataram que a alta resistência à fadiga torcional deste instrumento é devido ao diâmetro do núcleo variável. De acordo com Oh et al. (2010), a área da secção transversal deste instrumento foi a maior dos instrumentos estudados, gerando assim uma grande resistência a fratura torcional, mas diminuindo sua vida útil para resistência flexional devido sua alta rigidez. Sugerindo que a área da secção transversal é um fator importante na resistência à fadiga cíclica. No entanto, a área de secção transversal não é o único fator que afeta a resistência à fadiga cíclica. Tripi et al. (2006), realizou um estudo testando algumas limas rotatórias e concluiu que outro fator importante para a resistência à fadiga em canais curvos foi a presença e a largura das guias radiais. Os instrumentos, RaCe e Mtwo têm a área da secção transversal inferior em comparação com K3, mas apresentam pior resistência à fadiga, podendo ser explicado pela ausência das guias radiais.

Segundo Koch e Brave (2002), o design da secção transversal confere uma porção aliviada na guia radial que minimiza o atrito do instrumento em contato com a dentina enquanto que a largura estendida da guia radial maximiza a força de corte. Além disso,

a combinação das três guias radiais mantém o instrumento centrado no canal. A possibilidade de desviar um canal radicular com um instrumento rotatório com a ponta não cortante e guias radiais é mínima.

Um estudo realizado por Cecchin et al. (2011), mostrou uma maior capacidade de corte dos instrumentos K3, em comparação com a Quantec, isso é possivelmente devido ao design exclusivo da secção transversal de K3, que tem um ângulo de corte positivo e amplos guias radiais com alívio na extremidade posterior da lâmina, para reduzir o atrito. Ao contrário da Quantec, que tem duas lâminas de corte, a K3 tem uma terceira guia radial para ajudar a impedir o enroscamento do instrumento. Assim, os instrumentos K3 apresentam excelente capacidade de corte e os restos resultantes da ação de corte são facilmente deslocados da área de trabalho e removidos pelos sulcos helicoidais deste instrumento.



Figura 17: Na imagem vemos a secção transversal triangular modificada dos instrumentos K3. Três guias radiais e os perfis das paredes dos canais sinuosos (Lopes e Siqueira Junior, 2015; Koch e Brave, 2002).

- **Limas Mtwo®** (VDW, Alemanha)

Apresenta secção transversal em forma de S com duas arestas cortantes e dois canais helicoidais. As hélices são dispostas da direita para esquerda. (Lopes e Siqueira Junior, 2015). Segundo Rubio et al. (2015), o seu baixo contato radial e as arestas de corte quase verticais asseguram um bom controle do progresso do instrumento. Vários estudos avaliaram características diferentes desses instrumentos e confirmaram sua superioridade em comparação com outros sistemas.

Duas lâminas simétricas caracterizam a secção transversal de Mtwo esta geometria reduz contato das arestas de corte nas paredes dentinárias, reduzindo assim a produção de detritos e camada de esfregaço e aumentam a capacidade do volume disponível para soluções de irrigação e possibilitando a eliminação de detritos para cima. Isso é um fator diferencial para a ação de corte mais elevada observada para esses instrumentos (Poggio et al., 2015; Peixoto et al., 2015).

De acordo com Bürklein et al. (2012), no terço apical dos canais, a instrumentação com Mtwo e Reciproc resultou em muito menos detritos de dentina remanescentes

em comparação com o ProTaper e WaveOne. Uma possível razão para essa diferença na capacidade de remoção de detritos desses instrumentos é o seu desenho transversal.

Os instrumentos Mtwo apresentam resistência à fadiga cíclica superior aos outros instrumentos testado, isso pode ser explicado pela menor área de sua secção transversal, pois aumenta sua flexibilidade (Bürklein et al., 2012). A resistência à fadiga cíclica depende de vários fatores, como diâmetro, massa de metal, flexibilidade e forma da secção transversal. Como as limas Mtwo tem apenas duas arestas, observou-se que a sua área de secção transversal é a menor entre os instrumentos testados. A resistência do instrumento à fadiga cíclica tem uma relação inversa com o diâmetro do instrumento (Sekar et al., 2016; Mokhtari et al., 2014; Tripi et al., 2006).

Em um estudo de Schäfer et al. (2006), os instrumentos Mtwo foram significativamente mais rápidos do que os instrumentos K3 e RaCe. Em comparação com outros instrumentos rotatórios de níquel-titânio, os tempos de instrumentação com Mtwo foram substancialmente mais rápidos do que com todos os outros instrumentos rotatórios de níquel-titânio testados em condições experimentais idênticas. Isso pode ser devido ao desenho da secção transversal dos instrumentos Mtwo, que resultam em arestas de corte muito agressivas.

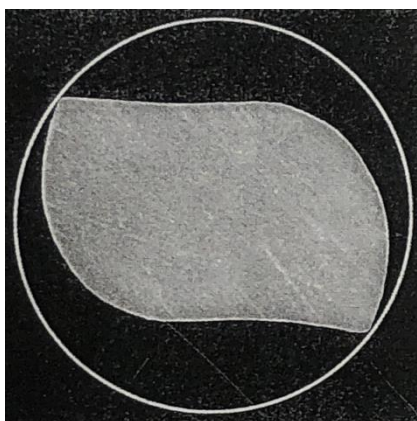


Figura 18: Na imagem vemos a secção transversal em formato de “S” dos instrumentos Mtwo (Lopes e Siqueira Junior, 2015).

- **Limas HERO 642®** (Micro-Mega, França)

O instrumento Hero 642 é elaborado como um design de hélice tripla. A secção transversal mostra um aumento de área na região posterior das arestas de corte e, consequentemente, um núcleo central com massa densa, para garantir resistência à fadiga torcional, resistência à carga e ao estresse, porém, reduzindo a sua flexibilidade e consequentemente a resistência à fratura por fadiga cíclica. A superfície do sulco helicoidal é pouco profunda e a haste de corte apresenta ângulo de ataque positivo. Com isto, evita-se que a lima trave no interior do canal e se desgaste excessivamente, aumentando assim, a durabilidade do instrumento. O sistema permite tratar dentes com canais radiculares que apresentam curvaturas pronunciadas, curvaturas duplas, terços apicais com rizogênese incompleta e retratamentos em poucos minutos.

A secção transversal apresenta três ângulos positivos de corte, que tem ação de tornear, ao invés de talhar a parede dentinária. Tem um núcleo maior, diminuindo a fadiga e reduzindo o risco de fratura. Os instrumentos HERO 642 não apresentam guia radial (Leonardo e Leonardo, 2002; Lopes e Siqueira Junior, 2004; Matos, 2016).

Segundo Diemer et al. (2013), alguns autores usaram modelos teóricos para mostrar que as secções transversais de triplos U geram tensões localizadas não só na aresta de corte, mas também no centro do instrumento. Essas tensões são maiores que as exercidas em uma hélice tripla do mesmo tamanho e diâmetro, mas que não apresenta guia radial. Sendo assim a incidência relativamente baixa de fraturas desses instrumentos pode estar relacionada à secção transversal do instrumento, que apresenta um núcleo mais massivo quando comparado às secções transversais em forma de U presente em outros sistemas de Ni-Ti (Hülsmann et al., 2003).

Outros autores relataram 14 fraturas de instrumentos ProFile .06 e .04, que apresenta secção transversal em forma de U, durante a instrumentação de 48 canais radiais simulados com diferentes tipos de curvatura, mas apenas três fraturas de instrumentos HERO 642, o que pode confirmar a importância da massa do núcleo na prevenção de fraturas dos instrumentos. E em outros estudos, os preparativos que utilizam os instrumentos HERO 642 podem ser concluídos com maior rapidez no que diz respeito ao ProFile ou Quantec SC, que pode estar relacionado ao ângulo de corte negativo das arestas, resultando em um corte com mais eficiência (Hülsmann et al., 2003).

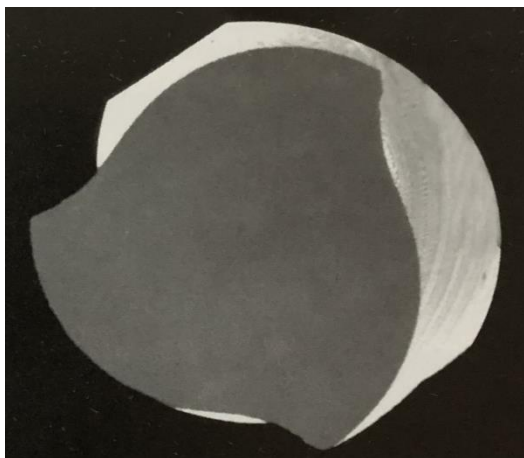


Figura 19: Na imagem vemos a secção transversal de tripla hélice da lima Hero 642 (Lopes e Siqueira Junior, 2004).

4. Discussão

A busca pela melhor maneira de se atingir os objetivos do tratamento endodôntico sempre foi motivo de estudo pelos pesquisadores. Facilitar o protocolo de instrumentação com materiais criados a partir de diferentes ligas metálicas e que apresentam designs únicos tem sido um foco pelos fabricantes.

Com a introdução das ligas de níquel-titânio (Ni-Ti) no mundo endodôntico para a fabricação de limas, a indústria passou a criar sistemas de instrumentos fáceis e rápidos de serem manipulados. Devido ao seu alto módulo de elasticidade, o Ni-Ti permite trabalhar em canais radiculares que apresentam variações anatômicas que dificultam o tratamento, principalmente as curvaturas (Elsaka e Elnaghy, 2017).

A partir da usinagem da liga de Ni-Ti, é possível criar diferentes formatos de secção transversal da haste de corte de um instrumento. E este formato pode apresentar propriedades que influenciam na indicação do instrumento para cada caso.

As propriedades dos instrumentos endodônticos estão diretamente associadas à sua liga metálica, conicidade, tamanho da ponta, padrão das arestas helicoidais e desenho da secção transversal (Alcalde et al., 2017).

O desenho da secção transversal afeta a capacidade de corte do instrumento, a flexibilidade, fadiga e a capacidade de remoção de detritos do canal durante a instrumentação.

Estudos mostram que instrumentos endodônticos com diferentes formatos apresentam características diferentes, como por exemplo: a rigidez torcional das limas com secção transversal retangular foi maior do que para os instrumentos com secção transversal triangular (Baek et al., 2011).

Sendo assim é muito importante que o profissional tenha o conhecimento dos designs geométricos e o comportamento mecânico destes instrumentos, pois o resultado do seu tratamento endodôntico depende do seu instrumento de trabalho.

Um dos componentes presentes na secção transversal é a aresta lateral de corte, esta que pode ter o formato de filete ou guia radial. Quanto mais fina for a aresta de corte, mais facilidade a aresta terá para cortar, mas gerando um estresse elevado ao instrumento, perdendo rápido sua capacidade de corte e gerando um risco maior de fratura. Já a guia radial proporciona um maior contato do instrumento com a parede do canal radicular. Esse contato impede que o instrumento se finque nas paredes do canal radicular quando for pressionada no sentido do ápice e ao rotacionar no canal, a guia permite o deslizamento pelas paredes dentinárias, proporcionando a função de alargamento e não de limagem gerando menor estresse ao instrumento e diminuindo assim o risco de fratura. (Leonardo e Leonardo, 2002).

Alguns autores defendem a guia radial, pois afirmam que esse design é efetivo em manter a lima centrada no canal, enquanto os defensores do filete afirmam que esse formato permite menor atrito nas paredes do canal. (Koch e Brave, 2002).

As secções transversais U triplas (presença de guias radial) geram tensões localizadas não só na linha de corte, mas também no centro do instrumento devido ao maior atrito nas paredes dos canais. Essas tensões são muito maiores que as exercidas em uma secção transversal de hélice tripla do mesmo tamanho e diâmetro, mas sem guias radiais (Diemer e Calas, 2004).

Tanto o filete quanto a guia radial apresentam ângulo de corte da aresta, que pode ser classificado em positivo, neutro ou negativo e influenciam na capacidade de corte do instrumento. No geral, as limas endodônticas utilizam ângulo de corte negativo, pois é menos agressivo e aumenta a vida útil do instrumento. Contudo, seu poder de corte é reduzido. Ângulo de corte positivo, apesar do seu grande poder de corte, pode levar a uma fratura do instrumento precoce, devido ao estresse em que é submetido. Vale lembrar que a capacidade de corte do instrumento depende de vários outros fatores.

Dentre os componentes da secção transversal o canal helicoidal é de extrema importância, pois permite a remoção dos resíduos da área de corte, atuando como área de escape. Evitando assim que as raspas de dentina se acumulem e fiquem pressionadas na região apical levando a perda do comprimento de trabalho (Camps e Pertot, 1994).

O formato e a profundidade do canal helicoidal irão variar de acordo com a forma da secção transversal, podendo apresentar faces côncavas, convexas ou sinuosas.

Autores afirmam que o volume e a passagem da solução química auxiliar utilizada durante o processo da instrumentação também é influenciada pela profundidade do canal helicoidal, pois este canal é que apresentam o espaço para o transporte destas substâncias.

Por mais que a liga de Ni-Ti apresente uma grande capacidade de flexibilidade, um fator importante que influencia neste ponto é o volume do núcleo da secção transversal. O aumento da massa metálica do núcleo levará à uma diminuição da flexibilidade do instrumento. Ou seja, o aumento do volume da massa do núcleo é inversamente proporcional a resistência a fadiga cíclica, mas é proporcional a resistência a fadiga torcional. Contudo, a falta de flexibilidade pode gerar desvios durante o preparo de canais curvos.

Um instrumento com a massa do núcleo menor pode ter resistência torcional maior do que um instrumento com um núcleo maior devido ao formato da secção transversal, como por exemplo: retângulo delgado versus triângulo, respectivamente. Logo, a observação de que as limas com área de núcleo interno menor terá menor resistência torcional não pode ser generalizada (Baek et al., 2011).

5. Conclusão

Com base na revisão de literatura realizada neste estudo foi possível concluir que a instrumentação dos canais radiculares passou por grandes avanços. A introdução das limas com liga de níquel-titânio possibilitou resultados satisfatórios no tratamento de canais que antes eram irrealizáveis devido às propriedades do aço-inoxidável.

A usinagem da liga de Ni-Ti possibilita aos fabricantes a criação de diferentes formas de secções transversais, estas com propriedades que influenciam na capacidade de corte do instrumento, na flexibilidade, resistência à fratura e a capacidade de remoção de detritos do interior do canal radicular.

É de extrema importância que o cirurgião-dentista tenha o conhecimento das características do formato e das propriedades das limas, principalmente das suas indicações de uso, pois o sucesso do tratamento endodôntico depende da sua ferramenta de trabalho.

REFERENCIAS*

Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Pinto JC, Só MVR, Vivan RR. Correction to: Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig*. 2017 Dec 26. doi: 10.1007/s00784-017-2321-x.

Allen MJ, Glickman GN, Griggs JA. Comparative analysis of endodontic pathfinders. *J Endod*. 2007 Jun;33(6):723-6.

al-Omari MA, Dummer PM, Newcombe RG. Comparison of six files to prepare simulated root canals. 1. *Int Endod J*. 1992a Mar;25(2):57-66.

al-Omari MA, Dummer PM, Newcombe RG, Doller R. Comparison of six files to prepare simulated root canals. 2. *Int Endod J*. 1992b Mar;25(2):67-81.

Baek SH, Lee CJ, Versluis A, Kim BM, Lee W, Kim HC. Comparison of torsional stiffness of nickel-titanium rotary files with different geometric characteristics. *J Endod*. 2011 Sep;37(9):1283-6. doi: 10.1016/j.joen.2011.05.032.

Bahia MG, Melo MC, Buono VT. Influence of simulated clinical use on the torsional behavior of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006 May;101(5):675-80.

Baumann MA, Roth A. Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1999 Dec;88(6):714-8.

Bolger WL, Gough RW, Foster CD. A comparison of the potential for breakage: the Burns Unifile versus Hedstrom files. *J Endod*. 1985 Mar;11(3):110-6.

Burkhardt L, Weidmann F, Rüttermann S, Gerhardt-Szep S. Comparison of the shaping ability of RaCe, FlexMaster, and ProFile nickel-titanium instruments in severely curved root canals. *J Clin Exp Dent*. 2016 Dec 1;8(5):e523-e528. eCollection 2016 Dec.

Bürklein S, Hinschitza K, Dammaschke T, Schäfer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J*. 2012 May;45(5):449-61. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01996.x.

Camps JJ, Pertot WJ. Machining efficiency of nickel-titanium K-type files in a linear motion. *Int Endod J*. 1995 Nov;28(6):279-84.

Camps JJ, Pertot WJ. Relationship between file size and stiffness of stainless steel instruments. *Endod Dent Traumatol*. 1994 Dec;10(6):260-3.

Capar ID, Ertas H, Ok E, Arslan H, Ertas ET. Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals. *J Endod*. 2014 Jun;40(6):852-6. doi: 10.1016/j.joen.2013.10.010.

Cassim I. A novel use of the Reciproc R25 Endodontic file for root canal obturation. *SADJ*. 2014 Nov;69(10):458, 460-2.

Cecchin D, de Sousa-Neto MD, Pécora JD, Gariba-Silva R. Cutting efficiency of four different rotary nickel Titanium instruments. *J Conserv Dent*. 2011 Apr;14(2):117-9. doi 10.4103/0972-0707.82605.

Chow DY, Stover SE, Bahcall JK, Jaunberzins A, Toth JM. An in vitro comparison of the rake angles between K3 and ProFile endodontic file systems. *J Endod*. 2005 Mar;31(3):180-2.

Cimis GM, Boyer TJ, Pelleu GB Jr. Effect of three file types on the apical preparations of moderately curved canals. *J Endod*. 1988 Sep;14(9):441-4.

Corrêa B. Influência de limas rotatórias de uso único e do movimento recíprocante no preparo químico-mecânico de canais radiculares [trabalho de conclusão de curso - especialização]. Piracicaba: Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas; 2015.

Dearing GJ, Kazemi RB, Stevens RH. An objective evaluation comparing the physical properties of two brands of stainless steel endodontic hand files. *J Endod*. 2005 Nov;31(11):827-30.

Deplazes P, Peters O, Barbakow F. Comparing apical preparations of root canals shaped by nickel-titanium rotary instruments and nickel-titanium hand instruments. *J Endod*. 2001 Mar;27(3):196-202.

Diemer F, Calas P. Effect of pitch length on the behavior of rotary triple helix root canal instruments. *J Endod*. 2004 Oct;30(10):716-8.

Diemer F, Michetti J, Mallet JP, Piquet R. Effect of asymmetry on the behavior of prototype rotary triple helix root canal instruments. *J Endod*. 2013 Jun;39(6):829-32. doi 10.1016/j.joen.2012.12.022.

El-Anwar MI, Yousief SA, Kataia EM, El-Wahab TM. Finite Element Study on Continuous Rotating versus Reciprocating Nickel-Titanium Instruments. *Braz Dent J*. 2016 Jul-Aug;27(4):436-41. doi: 10.1590/0103-6440201600480.

Elnaghy AM, Elsaka SE. Torsion and bending properties of OneShape and WaveOne instruments. *J Endod*. 2015 Apr;41(4):544-7. doi: 10.1016/j.joen.2014.11.010.

Elsaka SE, Elnaghy AM, Badr AE. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments. *Int Endod J*. 2017 Nov;50(11):1077-1083. doi: 10.1111/iej.12728.

García M, Duran-Sindreu F, Mercadé M, Bueno R, Roig M. A comparison of apical transportation between ProFile and RaCe rotary instruments. *J Endod*. 2012 Jul;38(7):990-2. doi 10.1016/j.joen.2012.03.022.

Ghattas SM, Hoen MM. Comparison of resistance to cyclic fatigue of one novel reciprocating endodontic file system with two novel rotary endodontic file systems. *Endodontic Practice Us* [internet] 2015; [acesso 2017 Out 17]. Disponível em: <https://www.endopracticeus.com/clinical-articles/comparison-of-resistance-to-cyclic->

fatigue-of-one-novel-reciprocating-endodontic-file-system-with-two-novel-rotary-endodontic-file-systems/

Haikel Y, Gasser P, Allemann C. Dynamic fracture of hybrid endodontic hand instruments compared with traditional files. *J Endod*. 1991 May;17(5):217-20.

Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J*. 2003 May;36(5):358-66.

Kim HC, Kim HJ, Lee CJ, Kim BM, Park JK, Versluis A. Mechanical response of nickel-titanium instruments with different cross-sectional designs during shaping of simulated curved canals. *Int Endod J*. 2009 Jul;42(7):593-602. doi: 10.1111/j.1365-2591.2009.01553.x.

Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod*. 2012 Apr;38(4):541-4. doi: 10.1016/j.joen.2011.11.014.

Koch K, Brave D. Real World Endo: Design Features of Rotary Files and How They Affect Clinical Performance. *Oral Health* [internet] 2002; [acesso 2017 Out 23] 39-49. Disponível em: http://www.saudident.com/album/data/media/2/Endo_1.pdf

Leonardo MR. Endodontia Tratamento de Canais Radiculares. São Paulo: Artes Médicas vol. 1; 2005. p. 284-87.

Leonardo MR, Leonardo RT. Sistemas Rotatórios em Endodontia. São Paulo: Artes Médicas; 2002.

Lopes HP, Siqueira Junior JF. Endodontia Biologia e Técnica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 2. ed; 2004. p. 323-99.

Lopes HP, Siqueira Junior JF. Endodontia Biologia e Técnica. São Paulo: Elsevier 4. ed; 2015. p. 265-332.

Machado MEL, Nabeshima CK, Leonardo MFP, Análise do tempo de trabalho da instrumentação recíproca com lima única: WaveOne e Reciproc. *Rev assoc paul cir dent* 2012;66(2):120-4

Magalhães RR, Braga LC, Pereira ÉS, Peixoto IF, Buono VT, Bahia MG. The impact of clinical use on the torsional behavior of Reciproc and WaveOne instruments. *J Appl Oral Sci*. 2016 Jul-Aug;24(4):310-6. doi: 10.1590/1678-775720150596.

Matos HRM. Endodontia mecanizada, das limas de aço inox a limas de M-Wire. Revisão de Literatura [trabalho de conclusão de curso - especialização]. Piracicaba: Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas; 2016.

Mokhtari H, Niknami M, Sohrabi A, Habibivand E, Mokhtari Zonouzi HR, Rahimi S, Zand V. Cone-Beam Computed Tomography Comparison of Canal Transportation after Preparation with BioRaCe and Mtwo Rotary Instruments and Hand K-Flexofiles. *Iran Endod J*. 2014 Summer;9(3)180-4. Epub 2014 Jul 5.

Mortman RE. Technologic advances in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2011 Jul;55(3):461-80, vii-viii. doi 10.1016/j.cden.2011.02.006. Review.

Oh SR, Chang SW, Lee Y, Gu Y, Son WJ, Lee W, et al. A comparison of nickel-titanium rotary instruments manufactured using different methods and cross-sectional areas: ability to resist cyclic fatigue. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010 Apr;109(4):622-8. doi: 10.1016/j.tripleo.2009.12.025.

Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod.* 2006 Nov;32(11):1031-43. Review.

Peixoto IF, Pereira ÉS, Aun DP, Buono VT, Bahia MG. Constant Insertion Rate Methodology for Measuring Torque and Apical Force in 3 Nickel-Titanium Instruments with Different Cross-sectional Designs. *J Endod.* 2015 Sep;41(9):1540-4. doi: 10.1016/j.joen.2015.05.021.

Plotino G, Giansiracusa Rubini A, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cutting efficiency of Reciproc and waveOne reciprocating instruments. *J Endod.* 2014 Aug;40(8):1228-30. doi: 10.1016/j.joen.2014.01.041.

Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J.* 2012 Jul;45(7):614-8. doi: 10.1111/j.1365-2591.2012.02015.x.

Poggio C, Dagna A, Chiesa M, Beltrami R, Bianchi S. Cleaning Effectiveness of Three NiTi Rotary Instruments: A Focus on Biomaterial Properties. *J Funct Biomater.* 2015 Feb 16;6(1):66-76. doi: 10.3390/jfb6010066.

Rubio J, Zarzosa JI, Pallarés A. A Comparative Study of Shaping Ability of four Rotary Systems. *Acta Stomatol Croat.* 2015 Dec;49(4):285-93. doi: 10.15644/asc49/4/3.

Sattapan B, Palamara JE, Messer HH. Torque during canal instrumentation using rotary nickel-titanium files. *J Endod.* 2000 Mar;26(3):156-60.

Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006 Mar;39(3):196-202.

Schäfer E, Oitzinger M. Cutting efficiency of five different types of rotary nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2008 Feb;34(2):198-200. doi: 10.1016/j.joen.2007.10.009.

Schäfer E, Tepel J. Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. *J Endod.* 2001 Apr;27(4):299-303.

Schäfer E. Root canal instruments for manual use: a review. *Endod Dent Traumatol.* 1997 Apr;13(2):51-64. Review.

Sekar V, Kumar R, Nandini S, Ballal S, Velmurugan N. Assessment of the role of cross section on fatigue resistance of rotary files when used in reciprocation. *Eur J Dent.* 2016 Oct-Dec;10(4):541-545. doi: 10.4103/1305-7456.195171.

Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J*. 2000 Jul;33(4):297-310. Review.

Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic Rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102:e106-e114. doi:10.1016/j.tripleo.2005.12.012

Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM. Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod*. 2000 Jul;26(7):414-7.

Vadhana S, SaravanaKarthikeyan B, Nandini S, Velmurugan N. Cyclic fatigue resistance of RaCe and Mtwo rotary files in continuous rotation and reciprocating motion. *J Endod*. 2014 Jul;40(7):995-9. doi: 10.1016/j.joen.2013.12.010.

Versiani MA, Pécora JD, de Sousa-Neto MD. Flat-oval root canal preparation with self-adjusting file instrument: a micro-computed tomography study. *J Endod*. 2011 Jul;37(7):1002-7. doi: 10.1016/j.joen.2011.03.017.

Versluis A, Kim HC, Lee W, Kim BM, Lee CJ. Flexural stiffness and stresses in nickel-titanium rotary files for various pitch and cross-sectional geometries. *J Endod*. 2012 Oct;38(10):1399-403. doi: 10.1016/j.joen.2012.06.008.

Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*. 1988 Jul;14(7):346-51.

Wan J, Rasimick BJ, Musikant BL, Deutsch AS. Cutting efficiency of 3 different instrument designs used in reciprocation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010 May;109(5):e82-5. doi: 10.1016/j.tripleo.2009.12.037.

Wei Z, Cui Z, Yan P, Jiang H. A comparison of the shaping ability of three nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study via a contrast radiopaque technique in vitro. *BMC Oral Health*. 2017 Jan 9;17(1):39. doi: 10.1186/s12903-016-0326-5.

Weiger R, ElAyouti A, Löst C. Efficiency of hand and rotary instruments in shaping oval root canals. *J Endod*. 2002 Aug;28(8):580-3.

Wycoff RC, Berzins DW. An in vitro comparison of torsional stress properties of three different rotary nickel-titanium files with a similar cross-sectional design. *J Endod*. 2012 Aug;38(8):1118-20. doi: 10.1016/j.joen.2012.04.022.

Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod*. 2006 Apr;32(4):372-5.

Zhang EW, Cheung GS, Zheng YF. Influence of cross-sectional design and dimension on mechanical behavior of nickel-titanium instruments under torsion and bending: a numerical analysis. *J Endod*. 2010 Aug;36(8):1394-8. doi: 10.1016/j.joen.2010.04.017.

* De acordo com as normas da UNICAMP/FOP, baseadas na padronização do International Committee of Medical Journal Editors - Vancouver Group. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o PubMed.