

UNIVERSIDADE PAULISTA

GIOVANE MAURO DE SOUZA

A EVOLUÇÃO DAS LIMAS ENDODÔNTICAS:

Revisão de literatura

CAMPINAS

2025

GIOVANE MAURO DE SOUZA

A EVOLUÇÃO DAS LIMAS ENDODÔNTICAS:

Revisão de literatura

Trabalho de conclusão de curso
para obtenção do título de
graduação em Odontologia
apresentado à Universidade
Paulista – UNIP.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Lozano Monteiro

CAMPINAS

2025

CIP - Catalogação na Publicação

Souza, Giovane Mauro de

A Evolução das Limas Endodônticas / Giovane Mauro de Souza. -
2025.

25 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) apresentado ao Instituto
de Ciência da Saúde da Universidade Paulista, Campinas, 2025.

Área de Concentração: Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Lozano Monteiro.

1. Odontologia. 2. Endodontia. 3. Limas endodônticas. 4. Revisão de
literatura. I. Monteiro, Fábio Henrique Lozano (orientador). II. Título.

GIOVANE MAURO DE SOUZA

A EVOLUÇÃO DAS LIMAS ENDODÔNTICAS:

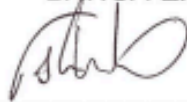
Revisão de literatura

Trabalho de conclusão de curso
para obtenção do título de
graduação em Odontologia
apresentado à Universidade
Paulista – UNIP.

Aprovado em: 02/12/25

NOTA 9,0

BANCA EXAMINADORA



02, 12, 25

Prof. Dr. Fábio Henrique Lozano Monteiro

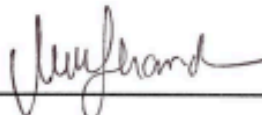
Universidade Paulista – UNIP



02, 12, 25

Prof. Dr. Danilo Kirschner Camargo Moraes

Universidade Paulista – UNIP



02, 12, 25

Prof.ª Dr.ª Maria Paula Maciel Rando Meirelles

Universidade Paulista – UNIP

Resumo

A evolução das limas endodônticas nos mostra avanços metalúrgicos, de fabricação e de cinemática que revolucionaram a prática endodôntica. A transição de instrumentos rígidos em aço carbono e aço inoxidável, que frequentemente causavam desvios e fraturas, para a introdução das ligas de níquel-titânio (NiTi) em 1988, que representou um grande marco devido à maior flexibilidade e superelasticidade, permitindo melhor preservação da anatomia radicular.

As primeiras limas de NiTi apresentavam riscos de fratura por fadiga cíclica e torsional. Isso motivou avanços metalúrgicos, como o desenvolvimento do tratamento termomecânico M-Wire (2007), que aumentou a flexibilidade e a resistência à fadiga. Novas ligas tratadas termicamente surgiram, como a CM-Wire (2010), que permitia o pré-curvamento e a recuperação da forma após esterilização, e os tratamentos Gold e Blue, que formam uma camada de óxido de titânio na superfície, melhorando a resistência à fadiga. Ainda, a liga Max-Wire (2015) altera sua forma no interior do canal devido à temperatura corporal, adaptando-se à anatomia. Além dos avanços com o tratamento térmico, também tivemos inovação na usinagem, com a usinagem por descarga elétrica (EDM), que gera uma textura crateriforme, resultando em uma superfície mais áspera e dura, melhorando a eficiência de corte do instrumento. Em 2008, Yared idealizou e propôs uma mudança na cinemática, com o movimento reciprocante e os sistemas de lima única, simplificando os procedimentos e reduzindo o estresse sobre os instrumentos, diminuindo o tempo operatório e o risco de fratura.

Apesar dos avanços, como maior previsibilidade, rapidez e preservação tecidual, ainda temos desafios, como risco de fratura por fadiga ou torção e o custo de sistemas modernos.

Este trabalho tem como objetivo geral revisar e analisar a evolução das limas endodônticas e seus impactos clínicos na Endodontia.

Palavras-chave: Limas endodônticas. Níquel-titânio.

Abstract

The evolution of endodontic files demonstrates metallurgical, manufacturing, and kinematic advances that have revolutionized endodontic practice. The transition from rigid carbon steel and stainless steel instruments, which often caused canal deviations and fractures, to the introduction of nickel–titanium (NiTi) alloys in 1988 represented a major milestone due to their greater flexibility and superelasticity, allowing better preservation of root canal anatomy.

The first NiTi files presented risks of fracture due to cyclic and torsional fatigue. This prompted metallurgical advances, such as the development of the M-Wire thermomechanical treatment (2007), which increased flexibility and fatigue resistance. New thermally treated alloys then emerged, such as CM-Wire (2010), which allowed pre-curving and shape recovery after sterilization, as well as Gold and Blue treatments, which form a titanium oxide layer on the surface, improving fatigue resistance. Additionally, the Max-Wire alloy (2015) changes its shape within the canal due to body temperature, adapting to the canal anatomy. Beyond advances in thermal treatment, innovations also occurred in manufacturing processes, such as electrical discharge machining (EDM), which produces a crater-like texture, resulting in a rougher and harder surface and improving the cutting efficiency of the instrument. In 2008, Yared conceived and proposed a change in kinematics with reciprocating motion and single-file systems, simplifying procedures and reducing stress on instruments, thereby decreasing operative time and the risk of fracture.

Despite these advances, such as greater predictability, speed, and tissue preservation, challenges remain, including the risk of fracture due to fatigue or torsion and the cost of modern systems.

The overall objective of this study is to review and analyze the evolution of endodontic files and their clinical impacts in Endodontics.

Key-words: Endodontic files. Nickel-titanium.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	METODOLOGIA	10
3.	REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1.	Primeiros instrumentos endodônticos	11
3.2.	Liga de Níquel-Titânio	12
3.2.1.	Tratamento térmico nas limas de NiTi	13
3.3.	Introdução do sistema recíprocante	14
3.3.1.	Tratamento Gold e Blue	15
3.3.2.	Usinagem por Descarga Elétrica (EDM)	16
3.3.3.	Max-Wire	17
3.3.4.	Tratamento Rainbow	17
3.4.	Benefícios da Instrumentação Mecanizada: Eficiência, Segurança e Previsibilidade	18
4.	DISCUSSÃO	19
5.	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

A endodontia é a especialidade odontológica responsável pela prevenção, diagnóstico e tratamento das patologias pulpares e dos tecidos periapicais, ela depende diretamente da instrumentação mecânica para obtenção do sucesso terapêutico. As limas endodônticas, são instrumentos essenciais para o preparo químico-mecânico dos canais radiculares, visando à remoção do tecido pulpar infectado ou necrosado, a modelagem do conduto radicular e a desinfecção do canal, criando condições favoráveis para o selamento do canal ^{1, 2}. Nas últimas décadas, as limas passaram por várias mudanças, tanto metalúrgicas quanto cinemáticas. A compreensão da evolução destes instrumentos nos permite identificar o estado atual da endodontia e escolher o sistema mais adequado para tratamento de cada caso.

A história das limas endodônticas teve seu início no século XIX, com protótipos do que se tornaram as limas endodônticas, sendo desenvolvidos por Edward Maynard a partir de molas de relógio e fios de corda de piano ²⁻⁵.

No século XX, as limas eram feitas inicialmente de aço carbono e posteriormente em aço inoxidável. Essas limas possuíam boa eficiência de corte, porém também eram muito rígidas, o que as tornavam propensas a causar diversos acidentes operatórios, como transporte apical, formação de degraus, zips e até perfurações radiculares ^{1-3, 6}. A baixa resistência à fadiga cíclica do aço inoxidável, com instrumentos calibre 15 fraturando após uma média de apenas 300 ciclos, e as de calibre 40 com média de 400 ciclos ⁷, representava uma grande limitação à segurança do tratamento.

Em 1988 tivemos um grande marco para a Endodontia, com a introdução das primeiras limas de Níquel-Titânio (NiTi) por Walia ^{6, 8}. A liga NiTi, descoberta por William Buehler em 1963 ³, apresentava propriedades únicas de superelasticidade, efeito memória de forma e um módulo de elasticidade significativamente menor que o do aço inoxidável ⁹. Estas propriedades conferiram uma grande flexibilidade aos instrumentos, permitindo uma melhor preservação da anatomia original do canal radicular ^{2, 10}.

A primeira geração de limas de NiTi, representada por sistemas como Profile e ProTaper, ainda oferecia risco de fratura por fadiga cíclica e torsional ^{3, 11}. Esta limitação

impulsionou novas inovações, não apenas focadas na geometria do instrumento, mas também em avanços metalúrgicos. O desenvolvimento dos tratamentos termomecânicos, iniciado com a liga M-Wire em 2007, permitiu manipular as fases microestruturais do NiTi (Austenita, Martensita e Fase R), gerando instrumentos mais flexíveis e resistentes ^{1, 12, 13}. Posteriormente, surgiram novas ligas tratadas termicamente, como a CM-Wire (Control Memory), com a capacidade de ser pré-curvada e de recuperar sua forma após esterilização ^{13, 14}, os tratamentos Gold e Blue, que formam uma camada de óxido de titânio na superfície, que aumentam a resistência à fadiga ^{13, 15, 16}, a liga Max-Wire, que altera sua forma no interior do canal devido à temperatura corporal, se adaptando a ele ^{13, 14, 16}, e a usinagem por descarga elétrica (EDM), que gera uma textura crateriforme ao sistema HyFlex EDM, resultando em uma superfície mais áspera e dura, melhorando a eficiência de corte do instrumento ^{3, 13, 17}.

Simultaneamente aos avanços metalúrgicos, também tivemos inovações na cinemática, com o movimento recíprocante idealizado por Yared em 2008 ^{8, 18-20}, que permitiu o desenvolvimento de sistemas de lima única, como WaveOne e Reciproc, reduzindo o tempo clínico, simplificando o protocolo e diminuindo o estresse sobre os instrumentos, reduzindo o risco de fratura ^{6, 11, 18, 21}.

Compreender a evolução das limas endodônticas é crucial para o cirurgião-dentista, pois embasa a escolha do sistema de instrumentação mais adequado para cada caso clínico, aumentando a segurança, a eficiência e o sucesso do tratamento endodôntico, tornando os tratamentos mais previsíveis, rápidos e confortáveis, como os possibilitados pela instrumentação mecanizada, que reduz o tempo operatório de 24,5 para 17 minutos em média ^{22, 23}, melhorando a qualidade do serviço prestado à população.

Embora existam vários artigos descrevendo sistemas endodônticos específicos, é necessário realizar uma revisão completa que conecte a linha do tempo das inovações, relacionando as evoluções metalúrgicas e cinemáticas com seus impactos clínicos, como a preservação anatômica, a resistência à fratura e a eficiência operatória. Este trabalho se justifica por buscar preencher essa lacuna, oferecendo uma análise

crítica e completa de como as limas endodônticas se desenvolveram ao longo dos anos.

Este trabalho tem como objetivo geral revisar e analisar a evolução das limas endodônticas, mostrando as principais inovações tecnológicas e seus impactos clínicos na Endodontia. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

a) Descrever a origem e as características dos primeiros instrumentos endodônticos.

b) Descrever e comparar as diferentes gerações de limas de níquel-titânio (NiTi).

c) Discutir os impactos clínicos dessas evoluções na segurança e qualidade do tratamento endodôntico.

2. METODOLOGIA

Para a produção deste trabalho, foi realizado uma revisão de literatura com base em artigos científicos e trabalhos disponíveis nas bases de dados Google Acadêmico, PubMed e SciELO.

Foram selecionados 27 artigos científicos para utilizar como base, publicados entre 2007 e 2025, sendo apenas 6 desses artigos anteriores à 2019.

Para a seleção dos artigos foram utilizados como critérios de inclusão, estudos que estivessem dentro da abordagem do tema, disponíveis na íntegra e de forma gratuita, nos idiomas português e inglês. Para a busca dos artigos foram utilizadas as palavras-chave "limas endodônticas", "evolução das limas endodônticas", "evolution of endodontic files".

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Primeiros instrumentos endodônticos

Os primeiros instrumentos manuais endodônticos foram desenvolvidos por Edward Maynard, no século XIX, sendo produzidos a partir de molas de relógio e fios de cordas de piano ²⁻⁵. Ainda no século XIX, em 1885, tivemos o surgimento das brocas Gates Glidden e das limas endodônticas K no mercado ^{2, 4, 8}. Oltramare, em 1892, fez a primeira referência a instrumentação rotatória, utilizando limas que podem ser conectadas a peças de mão mecanizadas utilizadas na odontologia, em movimentos de 360 graus velocidade de 100 rotações por minuto, numa tentativa de prevenir a fratura dos instrumentos, mas só a partir de 1974 que os instrumentos endodônticos passaram a seguir as especificações padronizadas da ISO ^{2, 4, 6}.

Em 1961, as limas endodônticas fabricadas de aço carbono eram instrumentos rígidos e apresentavam eficiência de corte, porém eram altamente suscetíveis à corrosão, pelos processos de desinfecção e por soluções irrigadoras, que levavam à oxidação e fraturas, visando corrigir essas falhas, tivemos a ascensão das limas de aço inoxidável ¹.

As limas de aço inoxidável se mantiveram como padrão-ouro até a década de 1990, quando começaram a ser substituídas por limas de NiTi, por serem pouco flexíveis, possuírem baixa resistência à fadiga cíclica e causarem desvios, perfurações e fraturas, principalmente em canais curvos ^{3, 6, 11, 24}.

Estudos mostram que as limas de aço inoxidável de calibre 15 que possuem média de fratura com 300 ciclos, e as de calibre 40 com média de fratura em 400 ciclos ⁷.

As limas endodônticas podem ser fabricadas de duas maneiras, por torção e por desgaste. Na produção de limas por torção, um fio de seção circular sofre desgaste em suas laterais, resultando em superfícies planas que formarão a seção da lima, elas podem ser quadrangulares, triangulares ou losangulares. Após a obtenção da seção, o fio é preso em suas extremidades e torcido, formando as espiras da parte ativa. Na produção das limas por desgaste, um fio de seção circular é introduzido em dois tornos

que desgastam o fio, produzindo a configuração desejada, as limas fabricadas por esse processo tendem a ser menos resistentes, devido a perda de massa do fio durante o processo, reduzindo a resistência. As limas de NiTi devem ser produzidas obrigatoriamente por desgaste, devido à sua propriedade de memória de forma e superelasticidade, que não permitem a deformação permanente do metal, enquanto as de aço inoxidável podem ser produzidas pelos dois métodos ³.

3.2. Liga de Níquel-Titânio

Em 1963, a liga de NiTi foi descoberta pelo engenheiro metalúrgico William Buehler, que a nomeou como NiTiNOL devido aos elementos da liga Níquel (Ni) e Titânio (Ti) e ao nome do laboratório onde foi produzida (NOL: Navy Ordnance Laboratory, em Maryland, EUA). A liga de NiTi é composta por aproximadamente 55-56% de níquel e 44-45% de titânio ^{2, 3, 9, 10, 13}.

A liga de NiTi pode existir em três fases microestruturais, austenita, martensita e fase R. As principais estruturas cristalinas dessa liga são a austenita, quando em alta temperatura, e a martensita, em baixas temperaturas. A fase austenita é forte e rígida, enquanto a martensita é flexível, macia e pode ser facilmente deformada, sendo resistente à fratura ²⁴. A estrutura cristalina pode ser alterada por temperatura e tensão. A liga convencional de NiTi existe de maneira predominante em temperatura ambiente e corporal em austenita, devido a temperatura de transformação de austenita para martensita variar de 16 a 31° ^{16, 24}.

Em 1988, Walia introduziu as limas endodônticas de Níquel-Titânio, revolucionando a endodontia por oferecer maior flexibilidade, memória elástica e superelasticidade ^{1, 6, 8, 10, 17, 21, 23}. Com o objetivo de diminuir tempo da consulta clínica e melhorar a conformação dos canais radiculares, essas limas também foram acionadas por motores elétricos, visando obter uma rotação contínua ¹.

Além disso, a liga NiTi possui um módulo de elasticidade três a quatro vezes menor que o do aço inoxidável, elevada resistência à corrosão e boa biocompatibilidade. Junto com estas características, as ligas de NiTi apresentam duas características muito importantes, o efeito memória de forma (EMF) e a

superelasticidade (SE). O efeito de memória de forma é a propriedade do material recuperar sua forma original após sofrerem deformações aparentemente permanentes, no caso das limas de NiTi, elas recuperam sua forma original quando aquecidas, enquanto a superelasticidade permite a recuperação de grandes deformações, de 6% a 8%⁹.

A primeira geração das limas de NiTi surgiu na década de 1990, em 1994, o Dr. Johnson introduziu no mercado os instrumentos Profile, eles foram os primeiros confeccionados com conicidades acima de 0,02mm. Após isso, outros instrumentos de NiTi foram lançados no mercado, como os sistemas Quantec, Great Taper Files, Protaper, K3, Mtwo, HeroShaper e Endosequence. Essa primeira geração trouxe muitas vantagens para a época, como flexibilidade, eficiência de corte, e menor tempo de trabalho, porém com custo elevado e risco de fratura^{3, 11, 15, 16}.

No final da década de 1990 e início dos anos 2000, as limas tiveram uma evolução devido ao tratamento de superfície, como o eletropolimento, que reduziram os defeitos de fabricação, melhorando a flexibilidade e resistência à fadiga cíclica e torsional, também tiveram mudanças geométricas na conicidade, ângulo de corte e bordas cortantes ativas sem radial lands, aumentando a eficiência de corte. Em sistemas como K3 XF e Easy Shaper^{3, 11, 16}.

3.2.1. Tratamento térmico nas limas de NiTi

Em 2007 tivemos o advento do tratamento térmico, sendo esse um processo na produção das limas que consiste no aquecimento e resfriamento do material repetidamente para obter propriedades específicas, influenciando e alterando propriedades dos instrumentos de NiTi.

M-Wire, ela contém uma fase martensítica mais estável em temperaturas mais elevadas, devido a um processo térmico na fabricação, que aprisiona uma fração de martensita na microestrutura da liga, dessa forma, durante o uso clínico ela não é totalmente composta pela fase austenítica, apresentando também pequenas quantidades de martensita e fase R, sendo esta uma fase intermediária entre a austenita e martensita^{10, 12 - 15, 25}. Esse processo termomecânico resulta em maior

flexibilidade, resistência à fadiga cíclica em comparação com as ligas convencionais de NiTi e redução de estresse de torção com o movimento recíproco. Exemplos dessa geração são GT Series X, ProFile Vortex, Vortex Blue ^{1, 3, 10, 12, 13, 15, 21, 25}.

Em 2008 a empresa Kerr Endodontics desenvolveu o tratamento térmico R-phase, que foi introduzido pela SybronEndo (Orange, Califórnia), introduziu a lima R-phase, com módulo de elasticidade da fase R menor que o da austenita e martensita, tornando o instrumento mais flexível que as limas de NiTi convencionais. O tratamento R-phase também é utilizado nas limas Twisted File, aumentando a resistência à fadiga cíclica ^{1, 13, 16}.

Em 2010 foi criada a lima CM-wire (Controlled-Memory wire) pela Coltene Whaledent (Allstätten & da Suíça) ¹. O fio de NiTi com CM-wire é a primeira liga tratada termomecanicamente que não possui propriedades superelásticas em temperatura ambiente ou corporal, essa liga permite que os instrumentos sejam pré-curvados, aumentando a resistência à fadiga cíclica ¹⁴. As limas CM-Wire possuem a fase martensita como predominante em temperatura ambiente, tornando elas mais flexíveis, portanto são limas deformáveis sob estresse mecânico, essa liga também não recupera sua forma após a remoção da tensão, dessa forma é considerada uma liga com memória de forma controlada, podendo recuperar sua forma após serem aquecidas ^{13, 15}. Elas apresentam maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica em relação ao M-wire e ao NiTi convencional ¹³. Essa liga também apresenta menor proporção de níquel, aproximadamente 52% ¹⁶.

3.3. Introdução do sistema recíprocante

A primeira menção do sistema recíprocante foi feita em 1985, por Roane, baseado no princípio da força balanceada ^{20, 23}. Em 2008, o Dr. Ghassan Yared aprimorou, idealizou e propôs a cinemática recíprocante, utilizando somente a lima ProTaper F2 (Dentsply Maillefer, Suíça) e com o motor ART Vision (ATR, Pistoia, Itália), realizando movimento de 144° no sentido horário e 72° no anti-horário, sendo 5 rotações para completar 360° ^{6, 8, 18-21}. O movimento recíprocante reduziu a fadiga cíclica

da lima, diminuindo o risco de fratura, e reduziu o tempo de preparo dos canais por utilizar apenas uma lima ^{6, 8, 18, 21}.

A inovação da tecnologia recíprocante levou ao lançamento das limas Wave One (Dentsply Tulsa Dental Specialties e Dentsply Maillefer) e Reciproc (VDW), que vieram em 2011, sendo lançados como técnicas de modelagem de lima única, ambas fabricadas com a liga M-wire ¹¹.

3.3.1. Tratamento Gold e Blue

As limas endodônticas com tratamento blue e gold apresentam uma coloração característica devido à camada de óxido de titânio formada após o tratamento térmico ¹³. Esse tratamento térmico consiste no aquecimento e resfriamento controlado da liga ^{4, 10, 16, 25}. Nestes instrumentos, durante o tratamento térmico, ocorre uma reação entre o titânio e o oxigênio, formando a camada de óxido de titânio ^{15, 16}. A coloração dessa camada é referente a sua espessura, no sistema blue, a espessura dessa camada de óxido de titânio é de 60-80nm, enquanto no sistema gold a espessura é de 100-140nm ^{13, 15, 16}. Essas limas também apresentam a propriedade de memória controlada, e se diferenciam do CM-Wire por serem usinados antes do tratamento térmico ^{13, 15}. Os tratamentos gold e blue aumentam a flexibilidade e a resistência à fadiga, quando comparados com o NiTi convencional e o M-Wire ^{3, 13, 15, 16}.

Os tratamentos gold e blue também são um tratamento de memória controlada, porém conferem para os instrumentos cores específicas externamente e frações diferenciadas de martensita no interior do material, o que acaba por proporcionar propriedades mecânicas diferentes ¹⁰.

O primeiro instrumento endodôntico com a coloração azul foi o ProFile Vortex Blue, introduzido pela Dentsply Tulsa Dental em 2011. A lima Vortex Blue é um sistema rotatório feito de M-Wire, ele apresentava maior resistência à fadiga, melhor eficiência de corte e maior flexibilidade ^{14, 15}. Posteriormente a nova geração de limas Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha) foi criada em 2016).

A lima ProTaper Gold (Dentsply Sirona) foi criada em 2013, utilizando um tratamento térmico subsequente das limas em temperaturas de 370 °C e 510 °C ¹⁴.

Estudos mostram que instrumentos Gold são 80% mais flexíveis e 150% mais resistentes à fadiga que sistemas convencionais de mesma geometria ³.

3.3.2. Usinagem por Descarga Elétrica (EDM)

A usinagem por descarga elétrica (EDM – Electrical Discharge Machining) é um processo de usinagem sem contato que se baseia na erosão térmica. Este método utiliza descargas elétricas controladas, na presença de um fluido isolante, conferindo características superficiais únicas ¹⁴.

Essa tecnologia foi empregada pela empresa Coltene, que lançou em 2016 o sistema HyFlex EDM, um instrumento fabricado a partir da liga CM-Wire submetido a um tratamento de superfície via EDM ¹³⁻¹⁵. Nesse processo térmico de erosão, a superfície do instrumento é modificada, gerando uma textura crateriforme característica ¹³. Esse processo resulta em uma superfície mais áspera e dura, o que está diretamente relacionado a uma maior eficiência de corte ^{15, 16}.

A aplicação da eletroerosão no sistema HyFlex EDM trouxe avanços significativos em suas propriedades mecânicas. O instrumento, que é composto principalmente por uma liga de NiTi em fase R e martensítica ¹⁷, apresenta uma resistência à fadiga cíclica drasticamente aumentada. Estudos demonstram que o HyFlex EDM possui uma resistência significativamente maior não apenas em comparação ao seu predecessor, o HyFlex CM (até 700% maior), mas também em relação a outras ligas como M-Wire e o NiTi convencional ^{3, 13, 17}.

Além da superior resistência à fratura, o sistema HyFlex EDM mantém a característica de "memória controlada" da liga, permitindo que o instrumento retorne à sua forma original após ciclos de esterilização, e é comercializado em um sistema modular pré-esterilizado, que inclui diferentes tipos de limas para diversas funções clínicas ¹⁷.

3.3.3. Max-Wire

A liga MAX-WIRE (Martensite–Austenite–electropolish–fileX), foram patenteadas pela FKG Dentaire em 2015 ¹³⁻¹⁵. Esta foi a primeira liga de NiTi a combinar o efeito de memória de forma e a superelasticidade para aplicação na endodontia ¹³.

Os instrumentos fabricados com a liga MAX-WIRE encontram-se no estado martensítico em temperatura ambiente, se apresentando relativamente retas. No entanto, ao serem introduzidos no canal radicular, onde a temperatura é igual ou superior a 35°C, faixa correspondente à temperatura corporal, ocorre uma transformação de fase para o estado austenítico. Essa transição faz com que o instrumento mude sua configuração para uma forma semicircular ou curvada, devido à função de memória de forma da austenita ^{13, 14, 16}.

Essa forma semicircular permite ao instrumento se projetar contra as paredes do canal radicular, se acomodando nas irregularidades do canal, e realizar movimentos excêntricos, isso possibilita a instrumentação de canais complexos ^{13, 15}.

As melhorias metalúrgicas conferidas por esse tratamento térmico aumentam a flexibilidade, melhoram a manutenção da forma do canal curvado, reduzem o transporte e aumentam a segurança clínica ao diminuir a probabilidade de fratura por fadiga ou torção. Porém, existe uma preocupação clínica de que o aumento da flexibilidade possa comprometer a eficiência de corte dos instrumentos ¹⁶.

Os sistemas representativos desta tecnologia são o XP-endo Shaper, o XP-endo Finisher e o XP-endo Shaper Retreatment ^{14, 15}.

3.3.4. Tratamento Rainbow

Recentemente, entre 2023 e 2024, fabricantes como Quimidrol, Denco, Rogin e Ramo Medical introduziram no mercado instrumentos endodônticos submetidos a diferentes tratamentos termomecânicos, os quais conferem múltiplas cores na mesma haste de um mesmo instrumento. No entanto, não existem comprovações científicas sobre as propriedades dessas limas ¹⁵.

3.4. Benefícios da Instrumentação Mecanizada: Eficiência, Segurança e Previsibilidade

A instrumentação mecanizada trouxe vários benefícios para o tratamento endodôntico, estudos demonstram uma notável redução no tempo operatório, com a instrumentação mecanizada sendo concluída em média em 17 minutos, contra 24,5 minutos exigidos pela técnica manual. Essa maior agilidade, aliada à diminuição da pressão física aplicada pelo operador, resulta em maior conforto para o paciente ^{22, 23}.

Do ponto de vista técnico, a alta flexibilidade conferida pelas ligas de Níquel-Titânio (NiTi) e aprimorada por tratamentos térmicos (como M-Wire, CM-Wire, Max-Wire, Gold e Blue) permite uma melhor preservação da anatomia original do canal radicular. Esta propriedade é crucial para prevenir a ocorrência de erros iatrogênicos, como transporte apical, criação de degraus, zips e perfurações ^{2, 3, 6, 11, 18}.

A segurança do procedimento é aumentada pelo menor risco de fratura instrumental, devido aos avanços nas ligas metálicas e nas cinemáticas, como o movimento recíprocante, que conferem maior resistência à fadiga cíclica e torsional ^{6, 7, 10-12, 20, 21, 24}.

Por fim, a adoção de protocolos simplificados, incluindo sistemas de lima única, otimiza o fluxo clínico, reduz o número de instrumentos necessários e torna o procedimento mais simples e reprodutível ^{6, 11, 18, 20, 21}.

4. DISCUSSÃO

A evolução das limas endodônticas mostra um constante avanço metalúrgico e clínico, marcado pela transição de instrumentos rígidos de aço carbono e aço inoxidável para as ligas de Níquel-Titânio (NiTi) submetidas a tratamentos termomecânicos ^{3, 8, 24}. Essa discussão visa analisar essa evolução, mostrando a relação entre as inovações tecnológicas e seus impactos na prática endodôntica atual.

As limas iniciais em aço carbono e aço inoxidável, apesar de eficientes em corte, apresentavam alta rigidez, sendo associadas a complicações iatrogênicas em canais curvos, como transporte apical, formação de degraus e perfurações ¹⁻³. Estudos mostram que instrumentos de aço inoxidável calibre 15 apresentavam média de fratura após apenas 300 ciclos, enquanto os de calibre 40 fraturaram com aproximadamente 400 ciclos ⁷. A introdução da liga de NiTi por Walia em 1988 marcou uma mudança de padrão, pois suas propriedades únicas, superelasticidade, efeito memória de forma e alta flexibilidade, que possibilitaram uma melhor preservação da anatomia original do canal ^{2, 10, 11}. A compreensão das fases microestruturais do NiTi (austenita, martensita e fase R) se tornou fundamental para o desenvolvimento de tratamentos térmicos que influenciam o comportamento clínico dos instrumentos ^{10, 11, 25}.

Os tratamentos térmicos revolucionaram a evolução das limas de NiTi. A liga M-Wire, introduzida em 2007, apresentou uma microestrutura com frações de martensita e fase R, resultando em maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica quando comparada ao NiTi convencional ^{6, 25}. Testes de resistência em flexão comprovam que instrumentos M-Wire como WaveOne (344 gf) e Reciproc (370 gf) apresentam flexibilidade superior ao Profile Vortex (604 gf) ²⁶.

O CM-Wire (2010) marcou um grande avanço ao exibir a fase martensítica como predominante em temperatura ambiente, conferindo memória controlada, possibilitando o pré-curvamento do instrumento e sua recuperação após esterilização, além de maior resistência à fadiga ^{13, 14}. Estudos realizados com esterilização térmica demonstraram que instrumentos CM-Wire apresentam efeito de recuperação de forma após autoclavagem ^{12, 25}.

Os tratamentos Gold e Blue melhoraram ainda mais essas propriedades por meio da formação de uma camada de óxido de titânio superficial, que confere cores distintas (dourado: 100–140 nm; azul: 60–80 nm) e melhora a flexibilidade e a resistência à fadiga^{10, 15, 16}. Estudos demonstram que instrumentos Gold chegam a ser 80% mais flexíveis e 150% mais resistentes à fadiga que sistemas convencionais de mesma geometria³.

A inovação com a Max-Wire (2015) permitiu que o instrumento, inicialmente reto em temperatura ambiente, se transforme em uma estrutura semicircular no canal radicular ($\geq 35^{\circ}\text{C}$), melhorando o contato com as paredes dentinárias e a instrumentação em canais complexos^{5, 14, 16}.

Além dos avanços metalúrgicos, as melhorias no design geométrico e nos processos de fabricação contribuíram para aumentar a durabilidade e eficiência dos instrumentos. As técnicas como o eletropolimento reduziram defeitos superficiais, enquanto a usinagem por descarga elétrica (EDM), utilizada no sistema HyFlex EDM, gerou uma superfície crateriforme que aumentou consideravelmente a resistência à fadiga cíclica (até 700% em relação ao HyFlex CM)^{3, 14, 17}.

A cinemática de uso das limas endodônticas também teve um grande avanço com a introdução do movimento reciprocante, idealizado e desenvolvido por Yared (2008)^{8, 18-20}. Este movimento reduziu a fadiga cíclica e permitiu o desenvolvimento de sistemas de lima única, como WaveOne e Reciproc^{6, 11, 21}. Estudos indicam que a cinemática reciprocante aumentou a resistência à fratura e simplificou o fluxo clínico, diminuindo o número de instrumentos necessários e o tempo de procedimento^{8, 19, 20}. A técnica de lima única proposta por Yared se mostrou eficiente tanto em canais estreitos quanto curvos, utilizando apenas um instrumento ProTaper F2 em movimento reciprocante¹⁸.

A instrumentação mecanizada com limas de NiTi trouxe grandes avanços para a endodontia. Estudos indicam que o tempo de preparo foi reduzido de aproximadamente 24,5 minutos, da técnica manual, para cerca de 17 minutos, com a técnica mecanizada^{22, 23}. Além da redução do tempo de preparo, podemos observar um menor esforço físico do operador, maior conforto para o paciente e maior previsibilidade do resultado final^{2, 3, 22}. Além disso, a alta flexibilidade das ligas modernas também permitiu uma melhor

preservação da anatomia radicular, reduzindo a possibilidade de acidentes operatórios ^{2, 3, 6, 11}.

Apesar dos avanços, ainda temos adversidades, como o risco de fratura do instrumento, ainda que reduzido, e o custo elevado de sistemas mais modernos ⁶. Além disso, tratamentos recentes, como o Rainbow (2023-2024), carecem de comprovações científicas sobre suas propriedades mecânicas e desempenho clínico ¹⁵, dessa forma, estudos *in vitro* devem ser realizados em um futuro próximo para comprovar esse novo sistema. A esterilização térmica também merece atenção, uma vez que ciclos de autoclave podem influenciar a recuperação de forma e as propriedades de ligas com memória controlada ^{12, 13, 16, 25}.

A evolução das limas endodônticas é um processo de constante inovação, que busca aumentar a segurança, eficiência e previsibilidade. As transformações metalúrgicas, das limas de aço ao NiTi tratado termicamente, associadas a avanços no design e na cinemática, permitiram que a instrumentação mecanizada se tornasse um excelente recurso da endodontia moderna. A seleção do sistema, considerando a geometria, a liga e a técnica operatória, permanece essencial para aumentar os benefícios e diminuir os riscos. As pesquisas futuras devem focar na validação de novas tecnologias e no refinamento das propriedades das ligas, sempre com o objetivo de otimizar os tratamentos.

5. CONCLUSÃO

A evolução das limas endodônticas nos mostra um grande avanço baseado nas inovações metalúrgicas, melhorias nos processos de fabricação e na cinemática.

Os primeiros instrumentos endodônticos foram desenvolvidos no século XIX por Edward Maynard a partir de molas de relógio e cordas de piano, posteriormente foram desenvolvidas as limas de aço carbono, e em 1961 as limas passaram a ser fabricadas em aço inoxidável. Essas limas, embora eficientes no corte, apresentavam alta rigidez e baixa resistência à fadiga cíclica, fatores que resultaram em frequentes acidentes operatórios, como fratura da lima, transporte apical, formação de degraus e perfurações radiculares, especialmente em canais curvos.

A transição dos instrumentos rígidos de aço carbono e inoxidável para as ligas de níquel-titânio (NiTi) em 1988, foi um grande marco para a evolução da endodontia, devido às suas propriedades de alta flexibilidade, superelasticidade e memória de forma. O desenvolvimento das próximas gerações de limas de NiTi, com tratamentos de superfície e tratamentos térmicos, melhoraram as propriedades de flexibilidade e resistência à fadiga cíclica, reduzindo a ocorrência de erros iatrogênicos. Além disso, o fluxo clínico, no dia a dia dos cirurgiões-dentistas, foi simplificado com o sistema de lima única e o movimento reciprocante.

A escolha do sistema endodôntico, na prática clínica, deve levar em conta a geometria da lima, a liga metálica, o tratamento termomecânico e a cinemática, se adaptando às particularidades anatômicas do canal e à individualidade de cada caso e paciente.

A instrumentação mecanizada com limas modernas de NiTi se consolida como um grande avanço na endodontia moderna, oferecendo maior previsibilidade do tratamento, eficiência e preservação tecidual, além de diminuir o tempo operatório quando comparado com sistemas manuais.

REFERÊNCIAS

1. Ferraz KG, Ferraz MN, Meira GF, Barbosa KAG, João MMBP, Silva ALC. A evolução das limas endodônticas – revisão de literatura. *Research, Society and Development*. 2022;11(17):e226111739280. doi:10.33448/rsd-v11i17.39280.
2. Melo MC. Comparação entre instrumentação mecanizada e instrumentação manual [dissertação]. Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Dentária; 2021.
3. Flores AG, Orellana AP. Evolution of instruments in endodontics – literature review. *Int J Dent Oral Health*. 2019;5(6). doi:10.16966/2378-7090.306.
4. Antunes MS. Instrumentação Endodôntica: Instrumentação Mecanizada vs Instrumentação Manual – uma Perspetiva Radiográfica [dissertação]. Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Dentária; 2021.
5. De Martin G. Análise do preparo de canais radiculares realizado pelos alunos do curso de Odontologia da UFES utilizando-se a diafanização [dissertação]. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo; 2013. 98 p.
6. Matos HRM. Endodontia mecanizada, das limas de aço inox a limas de M-Wire: revisão de literatura [monografia]. Piracicaba: Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas; 2016.
7. Silva LBA, Novato LS, Silva AC, Moraes EDR, Araujo RPC, Soares IM, et al. Avaliação da resistência à fratura de diferentes tipos de limas endodônticas: uma análise comparativa. *Rev Contemp*. 2024;4(7):1-14. doi:10.56083/RCV4N7-075.
8. Souza JP, Oliveira LKL, Araújo WR, Lopes LPB. Instrumentação endodôntica mecanizada e suas evoluções: revisão de literatura. *Braz J Dev*. 2020;6(12):96231-96240. doi:10.34117/bjdv6n12-203.
9. Almeida G de C. Efeito da sequência de processamento durante a fabricação de instrumentos endodônticos de NiTi em suas propriedades mecânicas [tese]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Odontologia; 2020. 83 p.

10. Murucci MD. Instrumentos endodônticos de NiTi M-Wire e memória controlada: avaliação mecânica e da citotoxicidade in vitro [Dissertação de Mestrado]. Duque de Caxias: Programa Interinstitucional de Pós-graduação em Biomedicina Translacional, UNIGRANRIO, INMETRO, UEZO; 2020.
11. Haapasalo M, Shen Y. Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. *Endod Topics*. 2013;29:3-17.
12. Dioguardi M, Sovereto D, Aiuto R, Laino L, Illuzzi G, Laneve E, et al. Effects of Hot Sterilization on Torsional Properties of Endodontic Instruments: Systematic Review with Meta-Analysis. *Materials*. 2019 Jul 8;12(13):2190.
13. Dablanca-Blanco AB, Castelo-Baz P, Miguéns-Vila R, Álvarez-Novoa P, Martín-Biedma B. Endodontic Rotary Files, What Should an Endodontist Know? *Medicina (Kaunas)*. 2022 May 27;58(6):719.
14. Živković S, Jovanović-Medojević M, Nešković J, Popović-Bajić M. Nickel-titanium files in endodontics: development, improvement, and modifications of nickel-titanium alloy. *Vojnosanit Pregl*. 2023;80(3):262-9.
15. Rodrigues CB, Araújo VIC, Pereira WA, Gomes AG, Santos EBS, Frois GG, et al. Evolução histórica dos instrumentos endodônticos de níquel-titânio: revisão de literatura. *Braz J Health Rev*. 2024;7(3):01-23.
16. Liang Y, Yue L. Evolution and development: engine-driven endodontic rotary nickel-titanium instruments. *Int J Oral Sci*. 2022;14:12.
17. Biradar PV, Kumari S, Sharma Y. Modern Endodontic Rotary File—A Review. *J Adv Med Dent Sci Res*. 2025;13(7):41-7.
18. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J*. 2008;41(4):339-44.
19. Yared G, Ramli GA. Single file reciprocation: A literature review. *ENDO (Lond Engl)*. 2013;7(3):171-8.
20. Gonçalves FNR, Bezerra MS, Carvalho ML, Brito EHS, Brasileiro RB, Lopes MCM, et al. Avanços na endodontia: evolução dos sistemas

reciprocantes e seu impacto na eficácia do tratamento. Rev CPAQV. 2024;16(2).

21. de Moraes Ferreira B, Ferreira Gomes IV, Gehrke Barbosa M. Evolução dos instrumentos reciprocantes de Ni-Ti em endodontia. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Inhumas: Faculdade FACMAIS; 2023.
22. Martins DA, Vieira EAA, Kervahal PA. Benefícios das limas rotatórias no tratamento Endodontia. Res Soc Dev. 2022;11(13):e595111335957.
23. Carvalho GG, Yamashita RK. O avanços tecnológicos na endodontia: impacto da instrumentação rotatória na eficiência do tratamento de canal. JNT Facit Bus Technol J. 2025;1(61):167-82. doi: 10.5281/zenodo.15303218.
24. Sampaio MLM, Magalhães IJ, Almeida KVG, Lea LAD, Santos MV, Freire DCAM. Evolução dos instrumentos endodônticos na resistência à fratura. Rev Ibero-Am Humanid Cienc Educ. 2025;11(5):1946-53.
25. Obara IH. Instrumentos endodônticos com ligas tratadas [Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Odontologia]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2022. 30 p.
26. Lopes HP, Elias CN, Vieira MVB, Mangelli M, Souza LC, Vieira VTL. Resistência em flexão de instrumentos endodônticos obtidos de fios metálicos de NiTi convencional e M-wire. Estudo comparativo. Rev Bras Odontol. 2012;69(2):170-3.