

Tratamento térmico das ligas NiTi – flexibilidade e influência na resistência à fadiga cíclica e transporte canalár

Revisão sistemática integrativa

Giuseppe Asprella

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (ciclo integrado)

Gandra, 30 de setembro de 2022

Giuseppe Asprella

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (ciclo integrado)

Tratamento térmico das ligas NiTi –
flexibilidade e influência na resistência à
fadiga cíclica e transporte canalar
Revisão sistemática integrativa

Trabalho realizado sob a Orientação do Dr. Valter Fernandes e co-orientação Dr. Luis Caetano.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE:

Eu, Giuseppe Asprella, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

AGRADECIMENTOS:

É meu dever dedicar esta secção do meu trabalho às pessoas que contribuíram, com o seu incansável apoio, para a sua realização. Antes de mais, um agradecimento especial ao meu orientador o Dr. Valter Fernandes, pela sua imensa paciência, pelos seus conselhos indispensáveis, e pelo conhecimento que me transmitiu ao longo de todo o processo de redação do meu trabalho. Gostaria de agradecer infinitamente a os meus pais, que sempre me apoiaram, apoiando todas as minhas decisões, desde que escolhi o meu curso e área de estudos. Os meus sinceros agradecimentos aos meus colegas Giovanni Spinelli, Luigi Mango, Fabio Piscopo, Angelo R. Esposito, Nicola A. Tassone, Iuliana Danii, Piercarlo Zanini, Giulia Attene, Victoria Bouchard, Margaux Ascione, Agathe Rugel, Marco Günter e Tatiana Leal Vieira com quem partilhei todo o curso universitário. É graças a eles que tenho superado os momentos mais difíceis. Sem o conselho deles nunca teria sido bem sucedido.

RESUMO:

Introdução: O tratamento endodôntico tem como objetivo, através da desinfecção e obturação dos canais radiculares, a recuperação funcional da peça dentária afetada quer por patologia pulpar ou periapical. Com a introdução de novos materiais como as ligas liNiTi, por exemplo, o Médico Dentista pode obter melhores resultados respeitando a anatomia original do canal radicular. Desde os anos 90 que os instrumentos NiTi têm vindo a mudar significativamente com avanços no fabrico e processamento da liga. Estas limas têm vindo, desta forma, a ser melhoradas continuamente recorrendo a diferentes métodos de confeção e desenho.

Objetivos: Comparar as ligas NiTi Blue e Gold relativamente à sua flexibilidade, resistência à fadiga cíclica e transporte canalar. A hipótese nula sugere que não existem diferenças entre as limas NiTi quanto às características mencionadas.

Metodologia: Foi realizada uma pesquisa bibliográfica através do PubMed. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 12 artigos. Os critérios de inclusão de elegibilidade utilizados nas pesquisas de artigos também envolveram: estudos in vitro; estudos comparativos; ensaios controlados aleatórios; estudos de coorte prospetivos. Os critérios de exclusão foram os seguintes: artigos sem resumo, revisões sistemáticas, revisões bibliográficas, teses e dissertações; artigos cujo título e /ou resumo não eram relevantes; todos os artigos publicados em línguas que não a inglesa; artigos cujo texto completo não estava disponível.

Discussão/Resultados: A análise da literatura destacou as características das diferentes ligas metálicas, mostrando que o NiTi e os instrumentos tratados termicamente satisfazem melhor os requisitos necessários para um correto tratamento endodôntico, mostrando geralmente maior resistência à fadiga, torção e flexão, e uma maior flexibilidade. As limas tratadas termicamente alternam entre diferentes fases químicas de organização espacial dos elementos do NiTi ao longo do tratamento mudando as suas características mediante o stress e temperatura a que estão sujeitas.

Conclusão: Os tratamentos térmicos Blue e Gold, em geral, apresentam melhor desempenho quando comparados com outras limas (à exceção das limas HEDM e PD-R), demonstrando maior flexibilidade, maior resistência à fadiga e uma diminuição do transporte canalar.

Palavras-chave: *NiTi; blue; gold; alloys dental (MeshTerm); canal ledging; fatigue cyclic.*

ABSTRACT:

Introduction: Endodontic treatment has as its main objective, through disinfection and obturation of the root canal, the aesthetic and functional recovery of the dental piece affected by pulp or periapical pathology. With the introduction of materials such as NiTi files, the dentist can obtain better results and be quicker, respecting the original anatomy of the root canal. From the 1990s to the present day, the design of NiTi instruments has changed significantly, and advances have been made in the manufacture and processing of the alloy. From the first alloys produced until today, commercially available NiTi files have been improved in their different characteristic using different methodologies and different designs.

Objectives: The main objective of this integrative systematic review on NiTi Blue and Gold alloyed files is to compare them regarding their cyclic fatigue resistance and their flexibility. The null hypothesis is that there is no difference between NiTi files regarding these two characteristics.

Methodology: A bibliographic search was conducted in PubMed. After applying the inclusion and exclusion criteria, 12 articles were selected. The eligibility inclusion criteria used in the article searches also involved: in vitro studies; comparative studies; randomized controlled trials; prospective cohort studies. The exclusion criteria were as follows: articles without abstract, systematic reviews, literature reviews, theses and dissertations; articles whose title and/or abstract were not relevant; all articles published in languages other than English; articles whose full text was not available.

Discussion/Results: The literature review highlighted the characteristics of the different metal alloys, showing that NiTi and heat-treated instruments best meet the requirements needed for correct endodontic treatment, generally showing greater resistance to fatigue, twisting and bending, and greater flexibility. Heat-treated files alternate between different chemical stages of spatial organization of the Niti elements throughout the treatment, changing their characteristics according to the stress and temperature they are subjected to.

Conclusion: Blue and Gold heat treatments show better overall performance when compared to other files (with the exception of HEDM and PD-R files), demonstrating greater fatigue resistance, greater flexibility and a decrease in canal transportation.

Keywords: *NiTi; blue; gold; dental alloys (MeshTerm); canal ledging; fatigue cyclic.*

ÍNDICE GERAL:

ÍNDICE GERAL:	
RESUMO:	5
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO:.....	1
2. OBJETIVO:.....	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS:	4
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA:	4
3.2 SELEÇÃO DOS ESTUDOS E PROCESSO DE RECOLHA DE DADOS:.....	5
4. RESULTADOS:.....	6
5. DISCUSSÃO:.....	14
5.1 Fase de transformação NiTi:	14
5.2 Ligas NiTi	15
5.3 Ligas tratadas termicamente	16
5.3.1 Liga Blue	17
5.3.2 Liga Gold.....	18
5.4 Influência das ligas na flexibilidade	19
6.CONCLUSÃO:.....	21
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1 – Fluxograma da pesquisa bibliográfica	5
---	---

ÍNDICE DE TABELAS:

Tabela 1 – Tabela dos resultados.....	6
---------------------------------------	---

LISTAS DAS ABREVIATURAS:

CM: Control-memory

HEDM: HyFlex EDM

MF: Martensite finish

MS: Martensite Start

NiTi: Niqueltitanio

OC: OneCurve

OS: OneShape

OWG: OneWave gold

PD-R: Prodesign R

PTG: ProTaper gold

RB: Reciproc blue

TS: TwoShape

VB: Vortexblue

1. INTRODUÇÃO:

O tratamento endodôntico tem como objetivo, através da desinfecção e obturação do canal radicular, a recuperação estética e funcional da peça dentária envolvida na patologia pulpar ou apical. A área da Endodontia encontra-se em constante desenvolvimento, o que permite aos profissionais estarem na vanguarda de novas técnicas, materiais e métodos de trabalho, de forma a proporcionar aos seus pacientes os melhores cuidados. Com a introdução de instrumentos, tais como as limas NiTi, o Médico Dentista pode obter melhores resultados, através de técnicas mais rápidas, resultando tempo de tratamento reduzido.^(1,2)

As ligas NiTi foram usadas pela primeira vez em 1971, por Andreasen e Hilleman, em medicina dentária, no fabrico de fios ortodônticos. A liga NiTi possui um baixo módulo de elasticidade, uma memória de forma e grande flexibilidade, o que representa um grande interesse em endodontia. Civjan et al. foram os primeiros a conceptualizar o fabrico de instrumentos endodônticos a partir da liga NiTi, em 1975. Mais tarde, em 1988, Walia, Brantley e Gerstein introduziram os primeiros instrumentos endodônticos de NiTi. Posteriormente, os desenvolvimentos tecnológicos, a descoberta de novos tratamentos químicos, permitiram a produção de instrumentos endodônticos de NiTi através de processos de fabrico específicos, que aportaram alterações significativas na configuração e composição destes instrumentos.⁽³⁾

O design dos instrumentos NiTi mudou significativamente, tendo ocorrido avanços no fabrico e processamento da liga. As propriedades das limas podem ser modificadas dependendo do tipo de liga e do desenho da secção transversal. Ao longo dos anos, as limas de NiTi disponíveis foram melhoradas, utilizando várias tecnologias, nomeadamente o eletropolimento, *M-Wire*, *R-Phase*, *CM-Wire*, tratamento *Blue/Gold*, maquinação de descarga elétrica e *Max-Wire*. Os tratamentos térmicos com *Blue/Gold* tendem a afetar as temperaturas de transição das ligas de NiTi e consequentemente, a modificar a resistência à fadiga cíclica.⁽⁴⁾

A resistência à fadiga cíclica é definida como o número de ciclos que um instrumento pode suportar antes de fraturar. A literatura mostra que a resistência à fadiga cíclica diminui à medida que o tamanho do instrumento aumenta, podendo-se, portanto, afirmar que o parâmetro que parece ter maior influência na resistência à fadiga cíclica é a massa do instrumento no ponto de máxima flexão. Os tratamentos térmicos *Blue* e *Gold* têm a vantagem de aumentar a capacidade de flexão das limas, aumentando a sua resistência a fadiga cíclica.^(4,5)

Esta característica vai permitir diminuir a ocorrência de transporte canalar mantendo a conformação original do canal. Podemos definir transporte canalar como a remoção excessiva de estrutura da parede canalar do lado exterior da curvatura, devido à tendência do instrumento de voltar à sua forma original.^(4,5,6)

Com esta revisão sistemática integrativa pretendemos perceber as evidências existentes na literatura sobre o verdadeiro benefício destes dois tipos de tratamentos térmicos das limas NiTi na conformação dos sistemas de canais radiculares.

2. OBJETIVO:

O objetivo principal desta revisão sistemática sobre as limas NiTi Blue e Gold é compará-las relativamente à sua flexibilidade, resistência à fadiga cíclica e transporte canal. A hipótese nula é que não existe diferença entre as limas NiTi quanto a estas duas características.

3. MATERIAIS E MÉTODOS:

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA:

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica na base de dados PubMed, utilizando os seguintes termos de pesquisa: "NiTi" AND "blue" AND "gold" AND "alloys dental" (MeshTerm) AND "canal ledging" AND "fatigue cyclic". Os critérios de inclusão envolveram artigos publicados na língua inglesa, desde 2012 até 2022, relatando o tratamento térmico das ligas NiTi, bem como a respetiva flexibilidade, e a sua influência na resistência à fadiga cíclica e transporte canalar. Os critérios de inclusão envolvidos na pesquisa compreendiam: estudos in vitro; estudos comparativos; ensaios controlados aleatórios; estudos de coorte prospetivos. Quanto aos critérios de exclusão, foram excluídos: artigos sem resumo, revisões sistemáticas, revisões bibliográficas, teses e dissertações; artigos cujo título e/ou resumo não eram relevantes; todos os artigos numa língua estrangeira que não inglês; artigos cujo texto completo não estava disponível.

Além disto, foi realizada uma pesquisa manual nas referências bibliográficas de todas as fontes primárias desta revisão sistemática, de forma a incluir publicações adicionais relevantes.

3.2 SELEÇÃO DOS ESTUDOS E PROCESSO DE RECOLHA DE DADOS:

Os artigos selecionados pelo processo de pesquisa foram avaliados em três etapas:

Os estudos foram inicialmente selecionados quanto à sua relevância por título, e os resumos dos que não foram excluídos nesta fase foram posteriormente avaliados. O total de artigos para cada combinação de palavras-chaves foi compilado, tendo os duplicados sido removidos utilizando o Mendeley Citation Manager (Ed. Elsevier).

A segunda etapa incluiu a leitura e avaliação dos resumos e dos artigos não excluídos, de acordo com os critérios de elegibilidade. Foi realizada uma avaliação preliminar dos resumos para se estabelecer se os artigos cumpriam o objetivo do estudo.

Os artigos selecionados foram lidos na íntegra e analisados individualmente, relativamente ao objetivo deste estudo. Foram recolhidas as seguintes variáveis para esta revisão: nomes dos autores, ano de publicação, objetivos, tipo de estudo, tipos de limas, principais resultados e conclusões.

4. RESULTADOS:

A pesquisa bibliográfica identificou um total de 850 artigos no PubMed, como mostra a figura 1. Os artigos presentes em duplicado foram retirados, e os títulos e resumos de 413 artigos foram avaliados independentemente por três autores. Um total de 330 artigos foram excluídos por não corresponderem aos critérios de inclusão. Os restantes 83 estudos potencialmente relevantes foram avaliados. Desses estudos, 65 foram excluídos por não fornecerem dados completos, tendo em conta o objetivo do presente estudo. Assim, 21 estudos foram incluídos nesta revisão sistemática integrativa.

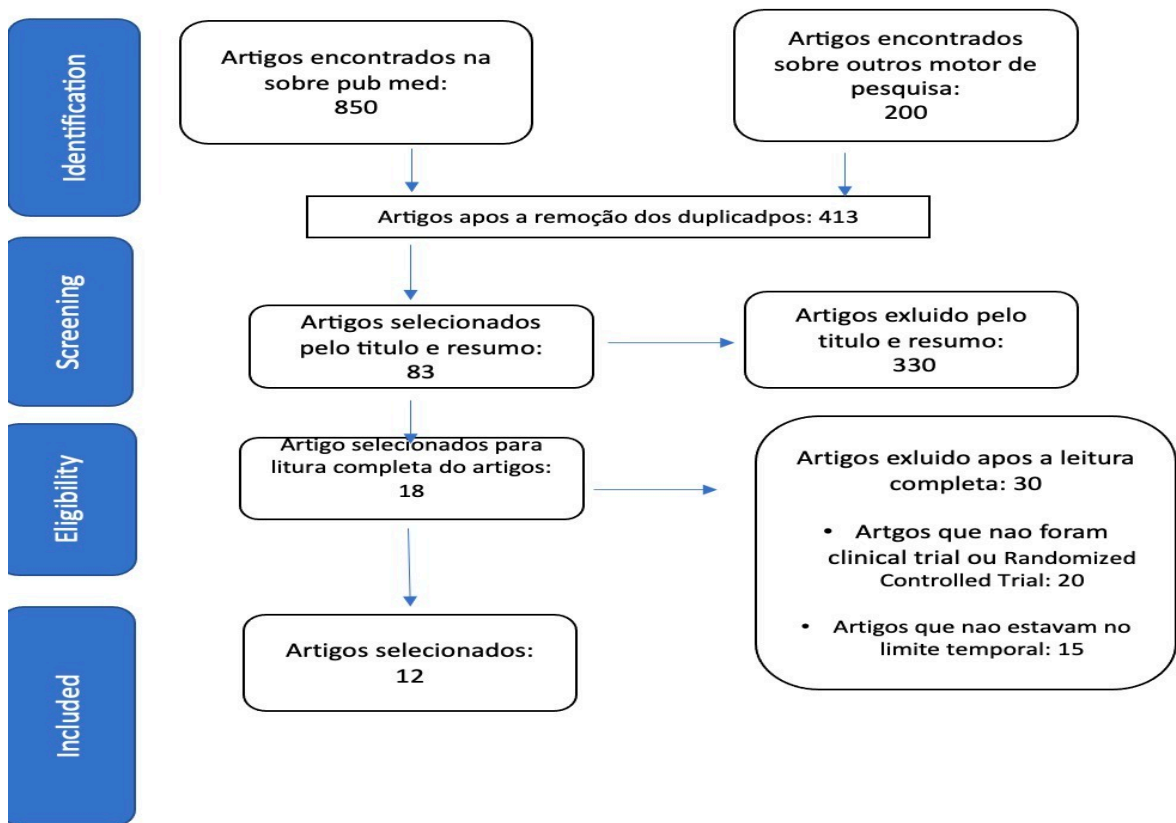


Figura 1: Fluxograma da pesquisa bibliográfica

Tabela 1: Tabela dos resultados

Autores/ano	Título	Tipo de estudo	Objetivo	Tipo de ensaios	Tipo de limas	Resultados/conclusões
1. Yılmaz K et. Al 2017	Cyclic fatigue life of Tango- Endo, WaveOne GOLD, and Reciproc NiTi instruments.	Estudo in vitro	Comparar o tempo de vida até à fadiga cíclica dos instrumentos Tango-Endo, WaveOne GOLD, e Reciproc NiTi.	Todos os instrumentos foram girados em canais artificiais feitos de aço inoxidável com diâmetro interno de 1,5 mm, ângulos de curvatura de 45°, 60° e 90° e raio de curvatura de 5 mm até ocorrer a fratura, e o tempo para fratura foi registado, em segundos, usando um cronómetro digital. Os dados foram analisados por meio de Kruskal- Wallis e os testes <i>post-hoc de</i> Dunn	<ul style="list-style-type: none"> • Reciproc • WaveOne GOLD • Primary, Tango • Endo 	Dentro das limitações do presente estudo, o tempo de vida até à fadiga cíclica do Tango-Endo em canais com diferentes ângulos de curvatura foi estatisticamente maior do que Reciproc e WaveOne GOLD.
2. Özyürek T et. Al 2018	Cyclic fatigue resistances of Hyflex EDM, WaveOne gold, Reciproc blue and 2shape NiTi rotary files in different artificial canals.	Estudo comparativo	Comparar as resistências à fadiga cíclica dos sistemas HyFlex EDM (HEDM), WaveOne Gold (WOG), Reciproc Blue (RB), e 2Shape (TS) NiTi com diferentes propriedades metalúrgicas.	<i>Cyclic fatigue test.</i> recorreu-se a dois canais artificiais diferentes de aço inoxidável com um diâmetro interno de 1,5 mm, um raio de curvatura de 5mm e 45° e 90° de curvatura. O ângulo de curvatura de 90° foi utilizado no presente estudo para testes de fadiga cíclica estática.	<ul style="list-style-type: none"> • HEDM, • WOG, • RB, • TS 	Dentro das limitações do presente estudo, as limas RB NiTi mostraram uma resistência à fadiga cíclica estatisticamente mais elevada nos canais artificiais com 45° e 90° do que as outras limas de NiTi testadas. Além disso, o aumento do ângulo de curvatura do canal afetou negativamente a resistência à fadiga cíclica.

Autores/título/ano	Título	Tipo de estudo	Objetivo	Tipo de ensaios	Tipo de limas	Resultados/ conclusões
3. Topçuoğlu H et. Al 2016	Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature.	Estudo in vitro	Comparar a resistência à fadiga cíclica das limas de níquel-titânio <i>WaveOne Gold</i> (WOG), <i>Reciproc</i> e <i>WaveOne</i> (WO) em canal radicular artificial com dupla curvatura (em forma de S).	Um total de 120 novas limas primárias WOG, Reciproc R25 e WO foram testadas em um canal artificial de aço inoxidável em forma de S. O comprimento de cada fragmento fraturado foi registado. Os dados foram analisados por meio de análise de variância unidirecional e testes post hoc de Tukey.	<ul style="list-style-type: none"> • WOG • Reciproc • WO 	As limas primárias <i>WaveOne Gold</i> exibiram maior resistência à fadiga cíclica do que as primárias Reciproc R25 e WO num canal artificial em forma de S.
4. Elsaka S et. Al 2016	Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments.	Estudo in vitro	Comparar a resistência à torção e flexão dos instrumentos <i>WaveOne Gold</i> , <i>Reciproc</i> e <i>Twisted File Adaptive</i>	A resistência à flexão dos instrumentos foi medida recorrendo ao teste de flexão cantilever.	<ul style="list-style-type: none"> • WOG • Reciproc • Twisted file adaptive 	<i>WaveOne Gold</i> apresentou maior resistência ao stress de torção e flexão em comparação com os instrumentos <i>Reciproc</i> e <i>Twisted File Adaptive</i> . As propriedades de resistência à torção e flexão dos instrumentos podem ser afetadas pela liga na qual o instrumento é fabricado e pelo desenho da secção transversal.

Autores/título/ano	Título	Tipo de estudo	Objetivo	Tipo de ensaios	Tipo de limas	Resultados/ conclusões
5. De-Deus G et. Al (2017)	Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files.	Estudo de coorte prospetivo	O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência do tratamento térmico Blue na resistência à flexão e fadiga cíclica de limas convencionais <i>M-Wire Reciproc</i> . O padrão de rugosidade e a microdureza das limas também foram avaliados.	A rugosidade das peças de trabalho foi quantificada usando um perfilômetro, e o teste de microdureza foi realizado usando o durômetro Vickers.	<ul style="list-style-type: none"> • Reciproc • RB 	O níquel-titânio <i>Reciproc Blue</i> apresentou melhor desempenho geral quando comparado ao níquel- titânio superelástico M-Wire convencional, demonstrando maior flexibilidade e resistência à fadiga, e microdureza reduzida, mantendo características semelhantes de superfície.
6. Uygun AD et. Al 2020	Comparison of the cyclic fatigue resistance of hyflex EDM, vortex blue, protaper gold, and onecurve Nickel- Titanium instruments.	Estudo in vitro	Este estudo <i>in vitro</i> visava comparar a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos HyFlex EDM (HEDM), Vortex Blue (VB), ProTaper Gold (PG), e OneCurve (OC)	Todos os instrumentos foram testados com ângulo de curvatura de 60° e raio de curvatura de 3 mm. Todos os instrumentos foram utilizados até à ocorrência da fratura, tendo sido depois calculado o número de ciclos até à falha (NCF).	<ul style="list-style-type: none"> • HEDM • VB • PG • OC 	Os instrumentos HEDM apresentaram maior resistência à fadiga cíclica, entre todos os outros instrumentos. Os instrumentos OC tinham uma resistência à fadiga significativamente maior do que os instrumentos PG e VB; contudo, não houve diferença significativa entre os instrumentos PG e VB no NCF.

Autores/título/ano	Título	Tipo de estudo	Objetivo	Tipo de ensaios	Tipo de limas	Resultados/ conclusões
7. Gündoğar M et. Al 2017	Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments.	Estudo in vitro	O objetivo deste estudo foi comparar as resistências à fadiga cíclica de <i>Reciproc Blue</i> , <i>HyFlex EDM</i> , <i>WaveOne Gold</i> e <i>OneShape</i> , sistemas NiTi de lima único.	Todos os instrumentos foram girados em canais artificiais, feitos de aço inoxidável com diâmetro interno de 1,5 mm, ângulo de curvatura de 60° e raios de curvatura de 5 mm até ocorrer a fratura, e o tempo até a fratura foi registado em segundos usando um cronómetro digital.	<ul style="list-style-type: none"> • RB • HEDM • WOG • OS 	Dentro das limitações do presente estudo in vitro, verificou-se que a resistência à fadiga cíclica das limas HyFlex EDM foi maior do que as resistências à fadiga cíclica das limas <i>OneShape</i> , <i>Reciproc Blue</i> e <i>WaveOne Gold</i> .
8. Alcalde MP et. Al 2018	Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel- titanium instruments.	Estudo in vitro	O objetivo deste estudo era avaliar a resistência à fadiga cíclica e à torção dos sistemas <i>Reciproc Blue</i> , <i>Prodesign R</i> e <i>WaveOne Gold</i>	Foram utilizados 60 instrumentos alternativos dos sistemas <i>Reciproc Blue</i> , <i>Prodesign R</i> e <i>WaveOne Gold</i> . O teste de resistência à fadiga cíclica foi realizado medindo-se o tempo até a falha, num canal artificial de aço inoxidável, com ângulo de curvatura de 60° e raio de 5 mm localizado a 5 mm da ponta (n = 10). O teste de torção (ISO 3630-1) avaliou o torque e o ângulo de rotação na falha de instrumentos novos (n = 10), na porção a 3 mm da ponta.	<ul style="list-style-type: none"> • RB • PD-R • WOG 	O PD-R apresentou a maior resistência à fadiga cíclica e rotação angular até a fratura em relação ao RB e WOG. Além disso, RB e WOG apresentaram maior resistência à torção do que PDR.

Autores/título/ano	Título	Tipo de estudo	Objetivo	Tipo de ensaios	Tipo de limas	Resultados/ conclusões
9. Silva EJNL et. Al 2016	Bending Resistance and Cyclic Fatigue Life of a new Single-File Reciprocating Instrument Waveone Gold. Eur Endod	Estudo in vitro	O presente estudo visava avaliar a resistência à flexão e resistência à fratura por fadiga cíclica de um novo instrumento de reciprocidade de lima único denominado <i>WaveOne Gold</i> . Os instrumentos <i>Reciproc</i> e <i>WaveOne</i> foram utilizados como referências para comparação.	Durante o teste de fadiga cíclica (n=10), foi utilizado um dispositivo feito sob medida, composto por um canal artificial de aço inoxidável, medindo 1,4 mm de diâmetro e 19 mm de comprimento total, e com um ângulo de 86° e raio de curvatura de 6 mm. As possíveis deformações no eixo helicoidal e o modo de fratura foram avaliados por análise de microscopia eletrônica de varrimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Reciproc • WO • WOG 	Apesar de <i>WaveOne Gold</i> apresentar maior flexibilidade do que <i>WaveOne</i> , não foram observadas diferenças na resistência à fadiga entre os dois sistemas. As limas <i>Reciproc</i> mostraram maior flexibilidade e resistência à fadiga para o ângulo de curvatura de 86° e raio de 6 mm do que as limas <i>WaveOne</i> e <i>WaveOne Gold</i> .
10. Gao Y et. Al 2012	Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments.	Estudo in vitro	Neste estudo <i>in vitro</i> , foram utilizadas matérias-primas (incluindo aço inoxidável, níquel-titânio superelástico convencional [NiTi], M-Wire NiTi, e Vortex Blue NiTi) para criar instrumentos ProFile Vortex e submeter estes instrumentos a testes de resistência à fadiga, propriedades de torção, flexibilidade, e	O teste de fadiga cíclica foi realizado por meio de limas rotativas, num canal de aço inoxidável artificial com raio de 5 mm e ângulo de curvatura de 90°, a 500 rpm. As propriedades de torção e flexibilidade na flexão foram avaliadas de acordo com a especificação ISO 3630-1. A microdureza Vickers foi medida na seção transversal de instrumentos com carga de 300 g e tempo de permanência de 15 segundos	<ul style="list-style-type: none"> • M-Wire • VB 	Sob as limitações deste estudo, a liga de NiTi, com memória de forma, pareceu ser uma opção de material superior, em comparação com o aço inoxidável, para aplicação no fabrico de instrumentos rotatórios endodônticos. Vortex Blue e M-Wire ofereceram vantagens funcionais em relação ao NiTi superelástico convencional. Vortex Blue mostrou maior resistência à fadiga e flexibilidade em comparação com o ProFile

			microdureza de Vickers.			Vortex M-Wire.
--	--	--	-------------------------	--	--	----------------

Autores/título/ano	Título	Tipo de estudo	Objetivo	Tipo de ensaios	Tipo de limas	Resultados/ conclusões
11. Galal M et. Al 2019	Influence of Thermomechanical Treatment on the Mechanical Behavior of Protaper Gold versus Protaper Universal (A Finite Element Study)	Estudo de Elemento Finito	Comparar e avaliar a influência do tratamento termomecânico da lima Protaper Gold versus lima universal Protaper durante os testes de flexão e torção, utilizando análise de elementos finitos.	Duas limas rotatórias de níquel-titânio NiTi (ProTaper Gold e ProTaper Universal) foram utilizadas neste estudo. As limas foram fotografadas, utilizando estereomicroscópio, para produzir modelos 3D. O comportamento do instrumento durante a flexão e torção foi analisado numericamente através de software CAD/CAM.	<ul style="list-style-type: none"> • ProTaper Gold • ProTaper Universal 	O tratamento termomecânico melhorou a resposta mecânica (resistência à flexão e torção) das limas de NiTi.
12. Oh S et. Al 2020	Bending resistance and cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc Blue, and HyFlex EDM instruments.	Estudo in vitro	Este estudo comparou a resistência à flexão e resistência à fadiga cíclica de três limas de NiTi, e examinou o seu comportamento de transformação de fase.	Uma carga vertical foi aplicada num ponto a 3 mm da ponta e a tensão foi medida até um deslocamento de 3 mm. Os testes foram realizados em temperatura ambiente (RT: 22 °C) ou temperatura corporal (BT: 37 °C) (n = 10). Ensaio de resistência à fadiga cíclica foram realizados num canal artificial, com ângulo de curvatura de 40° e raio de 5 mm. Os testes foram realizados em RT ou BT (n = 10). Os instrumentos foram operados de acordo com as instruções dos fabricantes.	<ul style="list-style-type: none"> • WOG • RB • HEDM 	Em RT a resistência à flexão das três limas não foi significativamente diferente. No entanto, em BT a resistência à flexão de RPB foi maior, seguida de WOG e HDM. Na RT, RPB demonstrou o maior tempo de fratura, seguido por HDM e WOG. Em BT, HDM obteve o maior tempo até à fratura, seguido por RPB e WOG. WOG e RPB consistiam em austenite numa proporção considerável, enquanto HDM mostrou principalmente a forma martensite em BT.

5. DISCUSSÃO:

5.1 Fase de transformação NiTi:

As ligas NiTi utilizadas para o fabrico das limas endodônticas contêm aproximadamente 56% (wt) de níquel e 44% (wt) de titânio. Notar que uma alteração de apenas 0,1% na composição destas ligas pode resultar numa alteração de 10°C na temperatura de transformação, o que pode afetar as características mecânicas destas ligas. À temperatura ambiente, estas ligas encontram-se na forma de austenite, uma estrutura cúbica centrada no corpo. Ao arrefecer a forma austenítica torna-se uma estrutura monoclinica, denominada martensite, devido a uma contração térmica linear clássica. Posteriormente na fase de arrefecimento para atingir a temperatura "*Martensite Start*" (M_s), a contração acelera quando é arrefecida, a taxa de contração torna-se novamente linear sendo este o ponto "*Martensite Finish*" (M_f), indicando o momento em que a proporção da fase de martensite atinge os 100%. O reaquecimento desta fase de martensite irá inviabilizar o processo e produzir uma nova forma de austenite. Esta fase é uma nova fase intermédia, denominada de fase R ou "fase Rombohedral" que ocorre no arrefecimento, antes da transformação martensítica estar completa. Quando as tensões externas são colocadas numa liga de NiTi, a forma de austenite é convertida na forma de martensite (martensite induzida pelo stress), que pode acomodar maior stress (8%) sem aumentar a tensão. ^(1,2,3,7,8)

Uma liga NiTi possui como característica a elasticidade transformacional, também conhecida como superelasticidade, o que se traduz na sua capacidade de voltar à sua forma original após ter sido deformada. O estado martensítico induzido pela tensão não é estável à temperatura ambiente, pelo que ocorre uma transformação imediata da fase martensítica para a fase austenítica, assim que a tensão é libertada. Isto leva a que o instrumento endodôntico volte à sua forma original quando é removido do canal. É possível ver uma alteração induzida pela tensão sem deformação permanente de até 8% em ligas de NiTi, em oposição a 1% no aço inoxidável. Quando a tensão é removida, a forma martensítica volta à forma original, ou seja, à forma austenítica. ^(1,2,3,7,8)

5.2 Ligas NiTi

Uma das principais razões para o uso de ligas de NiTi em endodontia, quando comparadas com os instrumentos endodônticos com outras ligas metálicas convencionais, é a sua superelasticidade e propriedades de memória de forma. A capacidade da liga de ser facilmente desestruturada a baixas temperaturas e de voltar ao seu estado anterior a altas temperaturas é chamada de memória de forma. A propriedade que permite que a liga volte ao seu estado original quando a força é removida, embora possa alterar a forma quando a força é aplicada a altas temperaturas, é chamada de superelasticidade. A superelasticidade da liga NiTi fornece aos instrumentos endodônticos uma grande flexibilidade, permitindo-lhes seguir a complexa anatomia dos canais radiculares e tornando-os mais resistentes à fratura e à abrasão. (1-7)

A utilização generalizada de instrumentos de NiTi tem sido benéfica para a redução do risco de ocorrência de muitos erros implicados no procedimento, tais como degraus, transporte e perfurações. Foi relatado que as limas de NiTi permitem uma melhor limpeza e moldagem, melhor formação de calibragem apical e paredes mais suaves na preparação do canal, comparativamente às limas de aço inoxidável. São também mais resistentes à deterioração do que as ligas convencionais. (1-7)

Desde os anos 90 até hoje, a forma dos instrumentos NiTi mudou significativamente e verificaram-se avanços no fabrico e processamento da liga. As propriedades dos instrumentos podem ser modificadas dependendo do tipo de liga, do grau de conicidade e do desenho da secção transversal. Desde as primeiras limas fabricadas foram desenvolvidas melhorias que permitiram chegar às limas que utilizamos hoje em dia, utilizando várias tecnologias de acordo com a sua função e características de desenho. Estas tecnologias compreendem o eletropolimento, *M-Wire*, *R-Phase*, *CM-Wire*, tratamento *Blue/Gold*, tratamento de descarga elétrica e *Max-Wire*. As ligas de NiTi utilizadas no tratamento de canais radiculares contêm 56% de níquel e 44% de titânio e, nesta combinação, a razão atômica dos principais componentes é igual, podendo a liga manifestar-se em várias estruturas cristalográficas. As ligas de NiTi contêm 3 fases macroestruturais (austenite, martensite e fase R) que determinam as características e proporções relativas do metal. (1-7)

Existem diferenças significativas entre algumas propriedades das fases de austenite e de martensite. Em termos de aplicações práticas, quando o material se encontra na forma de martensite, apresenta-se macio, maleável e com facilidade de sofrer deformações. Pelo contrário, durante a fase austenítica, a liga NiTi apresenta grande resistência e dureza. As propriedades das ligas de NiTi dependem de fatores intrínsecos tais como composições químicas, mudanças de fase e conteúdos químicos de metais. Já os fatores extrínsecos baseiam-se no processo de fabrico, como resultado dos tratamentos térmicos aplicados, através do aquecimento e arrefecimento da liga NiTi, estas temperaturas afetam a resistência à fadiga das limas constituídas por esta liga. Assim, conhecer as propriedades metálicas das ligas é importante no fabrico dos instrumentos, com o objetivo de proporcionar o melhor tratamento do canal radicular. ⁽¹⁻⁷⁾

5.3 Ligas tratadas termicamente

Em 2012, a *Dentsply Sirona*[®] lançou uma nova aplicação de tratamento térmico para ligas NiTi CM. Como resultado de aquecimento e arrefecimento repetidos, forma-se uma camada de óxido de titânio na superfície do instrumento. Esta camada de óxido é de 60nm a 80nm de espessura para instrumentos de liga Blue e de 100nm a 140nm para instrumentos de liga Gold. A cor do instrumento é, portanto, determinada pela espessura da camada de óxido de titânio na superfície. ⁽¹⁾

5.3.1 Liga Blue

Exemplos de instrumentos produzidos com esta tecnologia incluem *Vortex Blue* (Dentsply Sirona®), *Reciproc Blue* (VDW).

O *Vortex Blue* (VB) é uma geração de ligas NiTi, que ao contrário dos instrumentos convencionais superplásticos NiTi, VB possui uma camada de óxido de titânio na superfície do instrumento, com uma coloração azul, como resultado da própria fabricação específica. Esta camada superficial de óxido de titânio nas limas VB elimina a desvantagem de dureza característica das limas *Vortex*, melhorando a capacidade de corte e resistência ao desgaste. VB oferece maior flexibilidade e maior eficácia relativamente às limas *Vortex* convencionais com a mesma capacidade de corte. O sistema rotatório VB tem 65% de maior resistência à fadiga cíclica comparativamente às limas *M-Wire* NiTi, sendo este valor de 99% quando comparadas com as limas NiTi padrão. Além disso, as limas VB têm um aumento de potência de torque 42% superior, em comparação com as *M-Wire*. Os calibres apicais disponíveis para as limas VB estendem-se desde o 15 ao 50, com conicidades de 4% e 6% para a preparação do canal radicular. Recomenda-se o seu uso a 500 rpm de velocidade constante, e uma utilização inicial das limas #10K e #15K antes de passar para o sistema rotatório NiTi. A ponta da lima efetua um trabalho de limpeza e modelação do canal. ⁽²⁾

Reciproc Blue é um sistema de limas cujo fabrico implica a aplicação do tratamento térmico ao sistema original *Reciproc*, formando uma camada de óxido de titânio na sua superfície. Estas limas têm como característica fundamental a sua flexibilidade e a resistência à fadiga cíclica da lima, através do controlo da temperatura durante o processo de produção. A lima possui uma secção transversal específica em forma de "S", com ângulo de conicidade variável, que confere uma alta capacidade de corte, com maior produtividade e maior eficácia. A ponta do instrumento é concebida para não traumatizar o terço apical da raiz, sendo que o alargamento do canal é realizado recorrendo a uma única lima. As limas RB podem ser utilizadas de forma pré-programada para "Reciproc", que permite um movimento recíproco. Uma rotação completa envolve um total de 3 movimentos recíprocos. ⁽⁸⁾

De acordo com a literatura, a fase martensítica é estável nesta liga, como resultado do tratamento térmico aplicado, sendo também superior às limas *Reciproc*. Podemos também considerar que a estabilidade da fase martensítica pode ser observada, tanto na mesma fase, como na “*R-Phase*”. Esta característica confere às limas RB uma superelasticidade. Além disto, pensa-se que a camada de óxido aumenta a dureza superficial, melhorando a eficiência de corte da lima. A temperatura que leva à mudança de fase austenítica das limas RB foi registada aos 36,9°C e a temperatura de mudança de fase martensítica registou-se aos 28,4°C.⁽⁸⁾

Os artigos demonstram que os sistemas de liga Blue NiTi estudados permitem uma preparação centralizada mesmo em canais radiculares com inclinação excessiva. A elevada eficiência de corte lateral destes sistemas é devido à camada superficial que é relativamente a mais dura dos instrumentos.⁽⁷⁻¹⁴⁾

5.3.2 Liga Gold

O sistema *ProTaper Gold* (PTG) possui um desenho geométrico semelhante ao sistema *ProTaper Universal*. Fabricadas com uma técnica metalúrgica específica, as limas PTG oferecem um desempenho previsível, com um aumento significativo da sua flexibilidade. Relativamente às limas *ProTaper Universal*, estas apresentam duas vezes maior resistência à fadiga cíclica, tendo vantagens significativas em casos de curvaturas apicais extremas. Adicionalmente, o comprimento do cabo do PTG foi encurtado, permitindo um acesso mais fácil ao dente.⁽¹⁵⁾

A forma convexa e cónica da secção transversal do PTG reduz o seu atrito entre a parede do canal e a superfície de corte, aumentando, em simultâneo, a eficiência do corte. O fabricante recomenda uma velocidade de 300 rpm e um torque de 400-520 gcm para a instrumentação, e recomenda-se a utilização da técnica *Crown-Down* para conferir um acesso facilitado à lima PTG. A PTG SX pode ser utilizada para dar uma melhor forma ao nível do terço coronal, após uma preparação com limas 10K ou 15K. Após a instrumentação do canal com limas S1 e S2, o processo de alargamento é completado com as limas F1 e F2. Numa situação de um canal amplo, podem ser utilizadas as limas F3, F4, F5.⁽²⁾

Introduzido em 2015, *WaveOne Gold* (WOG) é o único sistema de limas de instrumentação de um ou mais sistemas semelhantes ao sistema de limas *WaveOne*. Os sistemas de limas

únicas demonstraram conferir forma ao canal radicular, com uma percentagem de sucesso de 80%. O sistema WOG difere do sistema WO na medida em que a unidade da liga Gold é produzida pelo método termomecânico. Os tratamentos térmicos repetidos aplicados para a liga NiTi resultam na formação de uma camada de óxido de titânio de 100-140nm na superfície, o que confere ao sistema propriedades mecânicas melhoradas, bem como uma coloração dourada. Destas propriedades, esta tecnologia fornece ao sistema WOG uma resistência à fadiga cíclica de 50% e uma flexibilidade de 80% , maiores do que o sistema WO. As limas WOG apresentam diferentes tamanhos, ângulos de conicidade e características de desenho, em comparação com o sistema WO.

O sistema WO detém um desenho de secção transversal convexo, de maior tamanho e ângulo de conicidade, sendo que WOG apresenta dois ângulos de corte e um desenho de secção transversal paralelo.

O sistema WOG funciona com movimento recíproco no canal, que é descrito por causar uma menor acumulação de tensão nas limas NiTi, relativamente ao movimento rotativo. As limas WOG constituem um sistema de instrumentação completo de lima único, assim como as *Reciproc*.⁽¹⁴⁾

5.4 Influência das ligas na flexibilidade

Embora normalmente a liga NiTi, com memória de forma, aparente ser uma opção superior relativamente ao aço inoxidável para aplicação no fabrico de instrumentos rotatórios endodônticos, as limas com tratamento termomecânico, como as ligas *Blue* e *Gold*, oferecem vantagens funcionais em relação ao NiTi superelástico convencional. Além disso, as limas com este tratamento mostraram, em geral, maior flexibilidade.⁽¹⁶⁾

Segundo Özyürek T, et al.², que executou um teste de fadiga cíclica em canais radiculares artificiais com 45° e 90° de curvatura, as limas RB NiTi mostraram uma flexibilidade e resistência à fadiga cíclica estatisticamente mais elevadas do que as restantes limas de NiTi testadas (HEDM,WOG,TS). Gündoğar M et al.⁷ comparou as resistências à fadiga cíclica de RB, HyFlex EDM, WOG e OneShape e tal como no estudo precedente, verificou que a resistência à fadiga cíclica das limas RB era maior do que a resistência à fadiga cíclica das limas *WaveOne Gold*. Também no estudo de Alcalde MP, et al. ⁸, as limas *Blue e Gold* apresentam uma resistência à fadiga cíclica inferior à das limas P-DR. Uygun AD, et al.⁶ e

Oh S, et al.¹² não encontraram diferenças estatisticamente significativas entre as limas *Blue e Gold*, quando comparadas relativamente à sua flexão.

Além destas evidências, outras publicações que compararam os sistemas convencionais NiTi com WOG e RB, nomeadamente Gao Y, et al.¹⁰, Yılmaz K, et al.¹ e de Topçuoğlu H, et al.³, evidenciaram que os sistemas Blue e Gold são mais flexíveis do que os sistemas não tratados termicamente. Este aumento de flexibilidade por parte das limas com este tratamento térmico melhorou a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos, afetando positivamente a durabilidade das limas, e sendo favorável em variações anatômicas, como canais curvos e canais com curvas duplas.

Estas revisões evidenciaram ainda a influência do aumento de flexibilidade da lima no transporte canalar. O transporte canalar consiste na remoção da parede do canal radicular do lado exterior na porção apical, causado pela tendência de recuperação de forma das limas. Isto ocorre como consequência de uma curvatura disto-apical. A tendência do instrumento de níquel-titânio para recuperar a forma mantém a parte ativa em contacto assimétrico ao longo das paredes, tendendo a remover mais dentina no lado exterior do canal no terço apical e no lado interior, a meio da curvatura.^(1,3,10)

6.CONCLUSÃO:

Dentro das limitações do presente estudo, podemos afirmar que:

- O tratamento termomecânico melhorou a resposta mecânica (resistência à fadiga cíclica e flexão) das limas de NiTi
- Os tratamentos térmicos *Blue e Gold* apresentam melhor desempenho geral quando comparados com outras limas (exceto pelas limas HEDM e PD-R), demonstrando maior resistência à fadiga e maior flexibilidade, bem como uma diminuição do transporte canalár;
- As limas de NITI com tratamento *Blue* são mais flexíveis e resistentes à fadiga cíclica do que as limas NITI com tratamento *Gold*;
- As limas com tratamento *Blue e Gold* são ideais para canais curvos ou com dupla curvatura

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig.* maio 2018;22(4):1865–71.
2. De-Deus G, Silva EJNL, Vieira VTL, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, et al. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod.* março 2017;43(3):462–6.
3. Elsaka SE, Elnaghy AM, Badr AE. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments. *Int Endod J.* novembro 2017;50(11):1077–83.
4. Ferreira F, Adeodato C, Barbosa I, Aboud L, Scelza P, Zaccaro Scelza M. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J.* fevereiro 2017;50(2):143–52.
5. Galal M, Ismail AG, Omar N, Zaazou M, Nassar MA. Influence of Thermomechanical Treatment on the Mechanical Behavior of Protaper Gold versus Protaper Universal (A Finite Element Study). *Open Access Maced J Med Sci.* 15 julho 2019;7(13):2157–61.
6. Gao Y, Gutmann JL, Wilkinson K, Maxwell R, Ammon D. Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod.* março 2012;38(3):398–401.
7. Gavini G, Santos MD, Caldeira CL, Machado ME de L, Freire LG, Iglecias EF, et al. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res.* 18 outubro 2018;32(suppl 1):e67.
8. Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. *J Endod.* julho 2017;43(7):1192–6.

9. Gutmann JL, Gao Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. *Int Endod J.* fevereiro 2012;45(2):113–28.
10. Iacono F, Pirani C, Gatto MR, Prati C, Peters OA. Combining apical torsional load and cyclic fatigue resistance of NiTi instruments: New approach to determine the effective lifespan of rotary instruments. *Aust Endod J.* dezembro 2021;47(3):429–34.
11. Oh S, Kum KY, Kim HJ, Moon SY, Kim HC, Chaniotis A, et al. Bending resistance and cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc Blue, and HyFlex EDM instruments. *J Dent Sci.* dezembro 2020;15(4):472–8.
12. Özyürek T, Gündoğar M, Uslu G, Yılmaz K, Staffoli S, Nm G, et al. Cyclic fatigue resistances of Hyflex EDM, WaveOne gold, Reciproc blue and 2shape NiTi rotary files in different artificial canals. *Odontology.* outubro 2018;106(4):408–13.
13. Shen Y, Zhou H min, Zheng Y feng, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod.* fevereiro 2013;39(2):163–72.
14. Silva EJNL, Tinoco JM, Tinoco EMB, Vieira VTL, Sassone LM, Lopes HP. Bending Resistance and Cyclic Fatigue Life of a new Single-File Reciprocating Instrument Waveone Gold. *Eur Endod J.* 2016;1(1):1–4.
15. Tabassum S, Zafar K, Umer F. Nickel-Titanium Rotary File Systems: What's New? *Eur Endod J.* 2019;4(3):111–7.
16. Topçuoğlu HS, Düzgün S, Aktı A, Topçuoğlu G. Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature. *Int Endod J.* julho 2017;50(7):713–7.
17. Uygun AD, Unal M, Falakaloglu S, Guven Y. Comparison of the cyclic fatigue resistance of hyflex EDM, vortex blue, protaper gold, and onecurve nickel-Titanium instruments. *Niger J Clin Pract.* janeiro 2020;23(1):41–5.

18. Yılmaz K, Özyürek T. Cyclic fatigue life of Tango-Endo, WaveOne GOLD, and Reciproc NiTi instruments. Restor Dent Endod. maio 2017;42(2):134–9.