

**BRUNO GILIOU BISI**

**Influência do controle de temperatura dos testes de fadiga cíclica de instrumentos reciproc e reciproc blue: revisão sistemática com meta análise**

São Paulo  
2021



**BRUNO GILIO LLI BISI**

**Influência do controle de temperatura dos testes de fadiga cíclica de instrumentos reciproc e reciproc blue: revisão sistemática com meta análise**

**Versão Corrigida**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia para obter o título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Endodontia

Orientador: Prof. Dr. Giulio Gavini

São Paulo  
2021

Catálogo da Publicação  
Serviço de Documentação Odontológica  
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

---

Bisi, Bruno Gilioli.

Influência do controle de temperatura dos testes de fadiga cíclica de instrumentos Reciproc e Reciproc Blue: revisão sistemática com Meta análise / Bruno Gilioli Bisi; orientador Giulio Gavini. - São Paulo, 2021.

91 p. : fig. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) -- Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de concentração: Endodontia. -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão corrigida.

1. Fadiga cíclica. 2. Tratamento térmico. 3. Controle de temperatura. I. Gavini, Giulio. II. Título.

---

Fábio Jastwebski – bibliotecário - CRB8/5280

Bisi BG. Influência do controle de temperatura dos testes de fadiga cíclica de instrumentos Reciproc e Reciproc Blue: revisão sistemática com meta análise. Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 16/08/2021

### **Banca Examinadora**

Profa. Dra. Mary Caroline Skelton Macedo

Instituição: FOUSP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Marco Antônio Húngaro Duarte

Instituição: FOB

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Luciano Natividade Cardoso

Instituição: UMESP

Julgamento: Aprovado



Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais Alice e José, que com todos os seus esforços e batalhas pude chegar até este ponto e me tornar a pessoa que sou hoje.

À Priscila, minha companheira que ao longo de todo este processo esteve ao meu lado, me amparou quando eu mais precisava, e aturou meu mau humor durante os finais de semana dedicados à escrita.

Ao professor Luciano Natividade Cardoso, que além de me mostrar como a Endodontia é fantástica, me deu oportunidades que jamais serão esquecidas.

Ao professor Guilherme Roberto Andrade Lima, pelos anos de parceria em aula e em clínica, pela paciência, pelas pérolas, pelas risadas, pela amizade.

Ao Weber, Leonardo, Glauber, Thomás e Perrella. Pela amizade e companheirismo em tantos momentos (inclusive no(s) café(s))

Ao professor Celso Luiz Caldeira, por tantos ensinamentos nas clínicas e laboratórios da FOU SP, e na vida profissional.

Ao Raphael, Tainá, Karla, Bruna e demais companheiros de mestrado. Obrigado pela parceria e cumplicidade em tantos momentos



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Giulio Gavini por toda a orientação deste trabalho, sempre extremamente precisa e embasada. Não tenho palavras para descrever a honra que sinto em ser seu orientado.

À professora Mary Caroline Skelton Macedo, agradeço por toda a contribuição à este trabalho com sua experiência em revisões sistemáticas.

À Lícia e Layse, por toda a parceria durante o mestrado e durante nossa caminhada com as revisões sistemáticas.

À Laura, pela troca de experiências e fundamental para a realização da meta análise.



*“Gradatim Ferociter”*



## RESUMO

Bisi BG. A influência do controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica de instrumentos Reciproc e Reciproc Blue: uma revisão sistemática com meta análise [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2021. Versão Corrigida.

**Introdução:** Estudos de resistência à fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos de NiTi são externamente importantes para determinar a vida útil das limas e como fatores relacionados a liga, cinemática de acionamento e características morfológicas do instrumento influenciam seu comportamento. A falta de padronização dos testes pode interferir nos resultados, produzindo interpretações equivocadas. Estudos mais recentes tem preconizado ensaios de fadiga cíclica com controle de temperatura para minimizar essas distorções e aproximar os resultados da realidade clínica.

**Proposição:** Este estudo teve como objetivo realizar revisão sistemática com cálculo de Meta Análise, das publicações dos últimos 10 anos que estudaram a fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue com e sem controle de temperatura, para verificar se ele interfere significativamente nos resultados. **Metodologia:** Foi feita uma busca nas bases de dados Pubmed e Scopus, sendo selecionados 474 resultados, dos quais 106 foram identificadas como duplicatas e foram automaticamente excluídos, restando de 368 publicações únicas, que foram avaliados através da plataforma Rayyan por 3 revisores. Atendiam por unanimidade os critérios de inclusão 39 publicações que foram em dois subgrupos a saber: 1: publicações que realizam teste de fadiga cíclica com controle de temperatura a  $37 \pm 2$  °C e 2: publicações que não realizam controle de temperatura durante o teste de fadiga cíclica. Em seguida, foram selecionadas apenas os artigos que comparam apenas os instrumentos Reciproc (RC) e Reciproc Blue (RB), totalizando 09 publicações. Os dados de tempo de fratura foram tabulados, juntamente com seus valores de desvio padrão e submetidos ao teste de análise estatística através do programa RSTUDIO, utilizando os pacotes TIDYVERSE, META, METAFOR e DMETAR. Para realizar a meta-análise foi utilizada a diferença média padronizada (SMD), com respectivo intervalo de confiança de 95% como medida do efeito. O método de análise utilizado foi a ponderação de variância inversa, por meio de um modelo de efeitos randômicos.

**Resultados:** Em relação ao controle de temperatura nos ensaios de fadiga cíclica de instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, não foi encontrada diferença estatisticamente

significante, com tendência de maior resistência à fratura dos instrumentos Reciproc Blue. **Conclusões:** O controle de temperatura não interfere nos resultados dos ensaios de fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue. A disparidade tanto entre o dispositivo de canal simulado, quanto o método de controle de temperatura das publicações aqui avaliadas, proporcionou um risco de viés, reforçando a necessidade de padronização dos ensaios de fadiga cíclica.

Palavras-chave: Fadiga cíclica. Tratamento térmico. Controle de temperatura.

## ABSTRACT

Bisi BG. Influence of temperature control during Reciproc and Reciproc Blue cyclic fatigue tests: a systematic review with meta-analysis [dissertation]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2021. Versão Corrigida.

**Introduction:** The study of the resistance to cyclic fatigue of the endodontic instruments has become important, mainly with the introduction of endodontic instrument that have continuous or alternated rotation. Those instruments are made of NiTi alloys that give them unique characteristics, which may change the way they work while inside the root canal, because the ability to swap between its martensitic and austenitic phases. Along with the changes the NiTi alloys may offer, other approaches to increase mean life of the NiTi endodontic instruments were introduced as change in its diameter and cross section, changes in the instrument cinematic with continuous, alternated and reciprocating motions, and changes in the way the alloy presents itself while inside the root canal. **Proposition:** Through a search on the databases these paper had the objective of making a systematic review with meta-analysis to verify if the temperature control in the cyclic fatigue tests of the Reciproc and Reciproc Blue instruments has any influence on their resistance to cyclic fatigue. **Methodology:** A search was made in the Pubmed and Scopus databases and the resulting articles were analysed by 3 revisors. Overall, 39 articles were in accordance with all the inclusion criteria and in two subgroups to know: 1: articles that did the cyclic fatigue tests with temperature control at  $37 \pm 2$  °C and 2: articles that did the cyclic fatigue test without temperature control. Between those 39 articles, were selected only the ones that only compared Reciproc (RC) and Reciproc Blue (RB), resulting in 09 articles. The “time to fracture” data was extracted along with their respective standart deviation values and underwent a statistical analysis calculation in the RSTUDIO program, using the TIDYVERSE, META, METAFOR and DMETAR packages. To make the meta analysis calculation the standard mean difference (SMD) was used, with the confidence intervalo of 95%, as measure of effect. The method of analysis utilized was the inverse variation ponderance, by a randomic effects model.

**Results:** A statistically significant difference between the two subgroups was not found, with a tendency to the Reciproc Blue being more fatigue resistant than Reciproc

instruments, in relation to the temperature control. **Conclusions:** The temperature control during the cyclic fatigue tests of Reciproc and Reciproc Blue seems to not have any influence in their outcome. On the other hand, because of the lack of the pattern of the study designs a insufficient number of studies was included in this paper, so that the risk of vies would not happen.

Key Words: Cyclic fatigue. Thermal treatment. Temperature control.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema de transformação martensítica (TM) e da transformação reversa.....	29
Figura 2.2 - Modelo simplificado da transformação martensítica.....	30
Figura 2.3 - Ilustração do primeiro equipamento descrito para teste de resistência à fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos de NiTi.....	39
Figura 4.1 - Fluxograma do resumo do processo de seleção das publicações para a revisão sistemática e meta-análise.....	53
Figura 5.1 – Representação do gráfico de floresta demonstrando resultados da meta análise.....	65
Figura 5.2 - Representação do gráfico de funil demonstrando o risco de viés dos trabalhos incluídos na meta-análise.....	67



## LISTA DE QUADROS

- Quadro 4.1 - Relação das publicações que se adequam aos critérios de inclusão, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, raio da curvatura do canal simulado (mm) e ângulo da curvatura do canal simulado (°)..56
- Quadro 4.2 - Publicações com controle de temperatura durante o teste de fadiga cíclica contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, temperatura durante a realização do teste (°C) e quais sistemas foram utilizados entre Reciproc (RC), Reciproc Blue (RB) ou ambos..... 59
- Quadro 4.3 - Publicações sem controle de temperatura durante o teste de fadiga cíclica contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, temperatura durante a realização do teste, e quais sistemas foram utilizados entre Reciproc (RC), Reciproc Blue (RB) ou ambos..... 60
- Quadro 4.4 - Trabalhos selecionados que realizam teste de fadiga cíclica com controle de temperatura simultaneamente nos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, incluindo nome do(s) autor(es), ano da publicação e tipo de dados fornecidos pela publicação em número de ciclos até a fratura (NCF) ou tempo até a fratura (TF)..... 62
- Quadro 4.5 - Trabalhos selecionados que realizam teste de fadiga cíclica sem controle de temperatura simultaneamente nos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, incluindo nome do(s) autor(es), ano da publicação e tipo de dados fornecidos pela publicação em número de ciclos até a fratura (NCF) ou tempo até a fratura (TF) ou ambos..... 63
- Quadro 4.6 - Dados extraídos dos grupos Reciproc das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica com controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão..... 63

Quadro 4.7 - Dados extraídos dos grupos Reciproc Blue das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica com controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão..... 64

Quadro 4.8 - Dados extraídos dos grupos Reciproc das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica sem controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão..... 64

Quadro 4.9 - Dados extraídos dos grupos Reciproc Blue das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica sem controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão..... 65

## LISTA DE SIGLAS

NiTi	Níquel Titânio
SCR	Sistema de canais radiculares
Ti	Titânio
SE	Super elasticidade
EMF	Efeito de memória de forma
TM	Transformação martensítica
TTR	Temperatura de transformação reversa
NaClO	Hipoclorito de sódio
ADA	American Dental Association
RPM	Rotações por minuto
mm	Milímetro
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
RC	Reciproc
RB	Reciproc Blue
TF	Tempo até a fratura
NCF	Número de ciclos até a fratura
nm	Nanômetros



## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
°	Graus
%	Porcentagem
s	Segundos



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	27
2.1	NITI NA ENDODONTIA.....	27
2.2	FRATURA DOS INSTRUMENTOS ENDODÔNTICOS DE NITI.....	30
2.3	TRATAMENTOS TÉRMICOS DOS INSTRUMENTOS ENDODÔNTICOS.....	32
2.4	TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA.....	37
2.5	TESTES DE FADIGA CÍCLICA.....	38
<b>3</b>	<b>PROPOSIÇÃO</b> .....	49
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	51
4.1	MATERIAL.....	51
4.2	MÉTODOS.....	51
4.2.1	<b>Formulação da pergunta</b> .....	51
4.2.2	<b>Identificação dos estudos</b> .....	51
4.2.3	<b>Critérios de inclusão</b> .....	51
4.2.4	<b>Critérios de exclusão</b> .....	52
4.2.5	<b>Obtenção dos dados</b> .....	52
4.2.5.1	Seleção das publicações.....	53
4.2.6	<b>Tabulação dos dados e análise estatística</b> .....	54
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	67
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	72
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	79
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	81



## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as especialidades odontológicas, a endodontia é uma das que mais rapidamente tem colocado à disposição do clínico novas tecnologias para trazer mais qualidade, previsibilidade e facilidade ao tratamento endodôntico. Passado um longo período de empirismo, o preparo químico mecânico baseado em ciência ganhou sua importância e com isso novos designs de instrumentos e técnicas foram surgindo.

Em um passado mais recente, foram introduzidos os instrumentos manuais com padrão ISO com o intuito de padronizar os instrumentos a serem utilizados no interior do canal radicular e tornar o tratamento endodôntico mais seguro. Juntamente com esta padronização se observavam problemas com a fratura destes instrumentos no interior do canal radicular, que por muitas vezes quando sua remoção não fosse possível, a apropriada sanificação dos canais não era realizada e por muitas vezes o dente tinha que ser extraído.

A fim de evitar que os instrumentos endodônticos fraturassem no interior dos canais, diversas técnicas foram sugeridas como o Crown Down, Step Back, Forças Balanceadas, dentre outras. Essas técnicas abrangeram além de uma certa sequência dos instrumentos manuais padrão ISO, propuseram novos tipos de cinemática que quando aplicadas provocavam menos stress sobre os instrumentos enquanto realizavam a instrumentação dos canais.

Propondo ainda uma instrumentação dos canais ainda mais segura e previsível, no final da década de 80 foram introduzidos os primeiros instrumentos rotatórios mecanizados de NiTi mais flexíveis e que possibilitaram a realização de casos mais complexos com menor incidência de acidentes.

Os instrumentos manuais de aço quando fraturados dentro do canal, comumente ocorria por fratura torsional, que ocorre quando a ponta do instrumento se prende e o instrumento segue sendo manipulado através de seu cabo. Com a introdução dos instrumentos mecanizados de NiTi de rotação contínua, surgiu um novo tipo de fratura: a fratura por fadiga flexural ou fadiga cíclica.

A fratura por fadiga cíclica ocorre quando o material, no caso a liga de NiTi, sofre uma constante compressão e descompressão, até que o limite elástico dessa liga seja ultrapassado e o material não possa mais se recuperar, causando uma deformação plástica e conseqüentemente a separação do instrumento.

Com esta nova questão, no final da década de 90 foi proposto um modelo para se estudar a fadiga cíclica e entender quais eram os pontos fracos destes instrumentos. A partir deste ponto, visando tornar os instrumentos cada vez mais resistentes à fadiga cíclica a fim de dar mais segurança para o tratamento endodôntico, várias mudanças foram propostas nestes instrumentos como alteração em sua secção transversal, menor massa e diâmetro, mudança no tipo de cinemática empregada e mudanças nas ligas metálicas.

Uma inovação de grande valia foi a introdução do movimento reciprocante nos instrumentos mecanizados de NiTi como visto nos instrumentos Reciproc e Waveone. Este movimento, diferentemente da rotação contínua vista até então na totalidade dos instrumentos de NiTi que os precederam, realiza um movimento de rotação alternada para a direita e esquerda, com angulações diferentes para cada sentido. Durante o avanço das publicações científicas o movimento reciprocante se mostrou mais efetivo em dar ao instrumento de NiTi maior resistência à fadiga cíclica que o movimento rotatório contínuo.

Entretanto, além da cinemática empregada, outros fatores são importantes para se determinar a resistência de um instrumento à fadiga cíclica. Outra inovação importante foi o tratamento térmico das ligas de NiTi. Com ele, foi possível alterar as fases de estado desta liga de NiTi entre austenita e martensítica, de modo a conceder ao instrumento maior flexibilidade, maior limite elástico e conseqüente maior resistência à fadiga cíclica aos instrumentos que o recebem. Um exemplo característico de tratamento térmico é o tratamento “Blue” que incorpora os instrumentos Reciproc Blue.

Com o avanço dos instrumentos endodônticos, também se viu a necessidade de se adaptar o modo com que eram feitos os testes de fadiga cíclica. Como o aumento da temperatura durante o ensaio pode ocasionar mudança de fase da liga de NiTi foi proposto o controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica para obtenção de resultados mais confiáveis e próximos da realidade clínica. Por esta razão, justifica-se a realização de Revisão Sistemática para avaliar se o controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica realmente influencia significativamente o resultado final.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 NITI NA ENDODONTIA

A grande variação e complexidade anatômica do sistema de canais radiculares (SCR) certamente é um dos maiores desafios que o clínico encontra na sua prática diária, inclusive com a ocorrência de acidentes como demonstrado por Weine et al. (1975). Salientam os autores, que o emprego de instrumentos manuais de aço inoxidável em canais de curvatura acentuada e anatomia complexa pode causar transporte do trajeto original do canal, zips apicais e degraus, dificultando a correta sanificação e obturação destes canais.

Andreasen e Hilleman (1971) introduziram na ortodontia os fios de NiTi que há época eram amplamente usadas na indústria aeroespacial e naval em suas variadas combinações, dadas suas propriedades mecânicas tais como super elasticidade e memória de forma.

Em 1975, observando as características únicas que as ligas de NiTi possuíam, Civjan sugeriu em um trabalho experimental introduzir na prática endodôntica instrumentos feitos a partir da usinagem de fios ortodônticos fabricados com esta liga para que pudessem em teoria produzir instrumentos endodônticos mais flexíveis e resistentes, comparados aos de aço disponíveis na época.

Walia et al. (1988) então publicou o primeiro estudo com instrumentos endodônticos de NiTi, com o objetivo de realizar o preparo mecânico dos SCR com mais facilidade e menor ocorrência de acidentes. Estes instrumentos apresentados se mostraram de duas a três vezes mais flexíveis e também mais resistentes à fadiga torsional que os instrumentos de aço inoxidável tanto no sentido horário quanto no anti-horário.

Com a possibilidade de se utilizar as ligas de NiTi na fabricação dos instrumentos endodônticos, se observou a realização de preparos mecânicos do SCR com menor desvio do trajeto original do canal radicular, menor formação de zips apicais, transportes de forames apicais e até mesmo a realização de casos mais complexos com maior segurança, trazendo assim maior previsibilidade e maiores taxas de sucesso para o tratamento endodôntico (Kuhn et al., 1997).

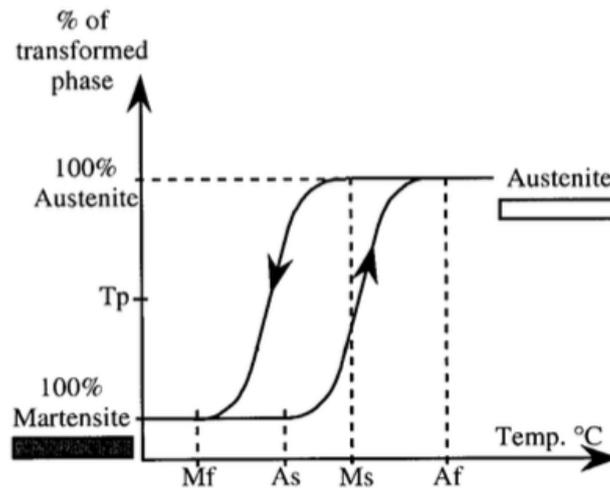
As ligas de NiTi utilizadas na endodontia são compostas de uma proporção quase que equivalente de seus elementos, em média por 56% de seu peso em níquel

(Ni) e 44% de seu peso em titânio (Ti). Este tipo de liga possui características únicas dadas as suas possibilidades de recombinações atômicas que podem fazer um novo arranjo na estrutura das moléculas da liga, sem que ela saia do estado sólido. Essas mudanças basicamente se dão por alterações na temperatura da liga ou por conta do stress sofrido por ela. Clinicamente, as características trazidas por essas mudanças com maior relevância clínica são a super elasticidade (SE) e o efeito de memória de forma (EMF) (Thompson, 2000).

O EMF é uma característica única de algumas ligas metálicas que são capazes de passar por um processo chamado transformação martensítica (TM), que possibilita a liga metálica a alternar entre as fases austenita ou parente quando aquecida e a fase martensita, quando resfriada. O momento em que a liga é resfriada novamente até atingir a fase martensita se chama transformação reversa, e a temperatura em que este fenômeno ocorre é denominada temperatura de transformação reversa (TTR). Por conta desta propriedade, o metal pode ser deformado em temperaturas mais baixas, porém quando aquecido acima da TTR (Figura 2.1), sua forma original é retomada, a menos que uma deformação plástica ocorra (Otsuka; Wayman, 1998).

Quando uma força é aplicada sobre um material, ela tende a fazer neste material uma deformação proporcional à esta força. Quando esta força excede certo limite (limite elástico do material), tende a causar uma deformação permanente neste. Enquanto a maioria das ligas metálicas sobre deformação permanente (plástica) quando a força aplicada sobre elas excede em 0,1% ou 0,2% o limite elástico do material, as ligas de NiTi podem exceder este limite em até 8% sem causar uma deformação plástica. Em paralelo a SE está associada à capacidade da liga metálica de se recuperar completamente quando sofrer uma carga de compressão e descompressão não linear acima do seu limite elástico (Otsuka; Wayman, 1998; Huang; Liu, 2001).

Figura 2.1 – Esquema de transformação martensítica (TM) e da transformação reversa

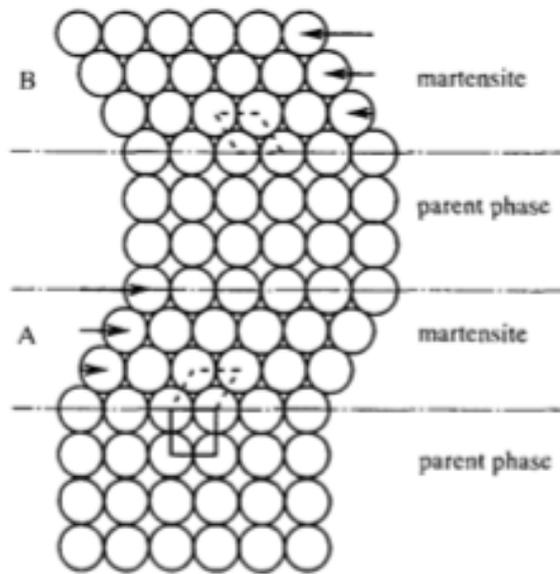


Fonte: Kuhn et al. (2001, p. 516)

Algumas ligas metálicas, dentre elas as de NiTi, possuem dentro de seu estado sólido a possibilidade apresentar diferentes fases de acordo com a temperatura a que são expostas. A etapa em que a liga é capaz de transitar entre essas fases é chamada de transformação martensítica (TM). Esta transformação acontece da fase austenita (ou parente) para a martensita, e vice-versa. Normalmente a fase austenita apresenta simetria cúbica, comumente vista em temperaturas mais elevadas. Já a fase martensita possui uma menor simetria, apresentando sempre o mesmo formato, porém podendo ter diferentes orientações de suas moléculas (Figura 2.2). Esta última ocorre em temperaturas mais baixas. (Otsuka; Wayman, 1998).

Dadas essas características e possibilidade de uso das ligas de NiTi na endodontia, vários instrumentos foram idealizados com variados tamanhos, tapers e seções transversais. Em 1992 John McSpadden desenhou o primeiro instrumento endodôntico mecanizado de NiTi a ser comercializado, ainda seguindo o padrão ISO de taper 0.02, porém este esteve constantemente associado a repetidos relatos de fratura do instrumento. Em seguida, em 1994, Johnson introduziu o primeiro sistema de instrumentos de NiTi fora do padrão ISO, com tapers de 0.04 e 0.06, dando início ao conceito de “orifice shaper”. Com a criação destes dois instrumentos, McSpadden e Johnson ficaram conhecidos como os “pais” dos instrumentos rotatórios de NiTi. (Haapasalo; Shen, 2013).

Figura 2.2 - Modelo simplificado da transformação martensítica



Fonte: Otsuaka e Wayman (1998, p. 3)

Em seguida, outros sistemas de instrumentos foram surgindo como o Quantec desenvolvido também por John McSpadden, a Greater Taper (GT) desenvolvida por Steve Buchanan e a LightSpeed, desenvolvida por Steve Senia. Esta última se destaca por ter um design diferente das demais. A LightSpeed é constituída de uma pequena parte ativa, na ponta do instrumento que realiza o corte da dentina, e uma haste longa e de pouca espessura, seguida de seu cabo. Seu design foi feito de maneira a realizar apenas o preparo apical dos canais, para que o instrumento sofra menos stress durante seu acionamento enquanto dentro do canal radicular (Haapasalo; Shen, 2013; Gavini et al., 2018).

## 2.2 FRATURA DOS INSTRUMENTOS ENDODÔNTICOS DE NITI

A terapia endodôntica é baseada em uma sequência de procedimentos técnicos que estão cientificamente embasados. A falha em alguma das etapas como diagnóstico, cirurgia de acesso e preparo do canal pode causar acidentes irreparáveis que comprometem o sucesso da terapia endodôntica (Torabinejad, 1990).

Parte das falhas durante a terapia endodôntica se dá pela fratura dos instrumentos endodônticos no interior do SCR enquanto são acionados. Uma vez que um instrumento frature dentro de um canal sem que ele seja sanificado ou até mesmo impeça sua adequada obturação, o insucesso pode ocorrer (Grossman, 1968; Lin et al., 1992).

A prevalência e etiologia da fratura dos instrumentos endodônticos é variada. Grande parte das fraturas dos instrumentos se dá em regiões de maior curvatura ou complexidade anatômica. Os dentes molares inferiores e superiores possuem grande variação anatômica e por isso a exploração correta dos canais antes de sua instrumentação se torna fundamental para o correto conhecimento da anatomia deste dente e conseqüentemente a prevenção de fraturas, principalmente em mãos mais inexperientes. As fraturas podem ocorrer nas fases iniciais do tratamento endodôntico por conta de os instrumentos de menor calibre serem utilizados nesta etapa, com maior stress aplicado sobre o instrumento (Iqbal et al., 2006).

As fraturas também podem ocorrer com instrumentos mais calibrosos, por terem mais massa e serem de maneira geral, mais rígidos. Uma maneira recomendada para a prevenção de acidentes e insucesso por conta das fraturas de instrumento é o seu descarte após o uso clínico (Parashos et al., 2004; Wolcott et al., 2006).

Os instrumentos de NiTi por normalmente por realizarem um grande desgaste de dentina durante o preparo mecânico do canal, acabam sofrendo grande stress durante seu funcionamento. Estratégias como o glidepath e o correto conhecimento da resistência de cada instrumento mecanizado de NiTi é fundamental para a prevenção de acidentes indesejados por fraturas (Patiño et al., 2005).

A fratura por fadiga torsional ocorre quando a ponta do instrumento se prende em uma porção do canal radicular enquanto o cabo do instrumento continua seu movimento. A fratura do instrumento ocorre quando é excedido o limite elástico da liga metálica de NiTi. Assim que o instrumento excede seu limite elástico, uma deformação plástica ocorre e o instrumento perde suas espiras até que o metal entre em fadiga e o instrumento se separe. Este tipo de fratura costuma ser operador dependente e pode ser minimizado conhecendo os corretos limites do instrumento (Varghese et al., 2016; Ha et al., 2018).

Outro tipo de fratura dos instrumentos, o qual não é perceptível ao operador é a fratura por fadiga flexural (ou cíclica). Esta ocorre quando o instrumento funcionando

constantemente em um canal curvo sofre forças constantes de compressão e descompressão, até o ponto flexural máximo, em que o metal sofre fratura por fadiga (Peters, 2004).

Durante este processo de constante compressão e descompressão enquanto o instrumento está sendo acionado em um canal curvo, o metal pode ter seu tempo até a fadiga flexural aumentado ou diminuído (a depender das características de fabricação de cada instrumento) devido às possíveis transformações martensíticas que podem ocorrer devido ao calor causado pelo atrito entre o instrumento e a parede do canal (McGuigan et al., 2013).

Foi reportado que a maior frequência de fraturas de instrumentos endodônticos ocorre por conta de fadiga cíclica. A partir do momento em que uma microtrinca surge em uma porção do instrumento endodôntico, sugere-se que a sua velocidade de propagação aumenta a cada ciclo de rotação pelo qual o instrumento passa dentro do canal radicular (Cheung et al., 2005).

Durante o processo de fabricação dos instrumentos podem ocorrer defeitos na superfície destes. Bennett et al. (2017) constataram que esses defeitos na superfície dos instrumentos são uma região de grande acúmulo de dentina, fazendo com que mais stress seja acumulado nessas regiões durante o preparo do canal, deixando o instrumento mais suscetível à fratura por fadiga cíclica.

Foi observado que a fratura por fadiga cíclica se dá pela propagação de micro trincas, e normalmente estas se iniciam nas regiões de defeito da superfície dos instrumentos, além de estar também intimamente ligada ao ângulo da curvatura do canal radicular em que o instrumento trabalha (Pirani et al., 2011).

Ainda, segundo Pereira et al. (2018) analisaram a superfície de instrumentos com tratamento de controle de memória e observaram que instrumentos com este tipo de tratamento possuem menor propagação das micro trincas após o uso clínico, tornando-os mais resistentes à fratura por fadiga flexural.

## 2.3 TRATAMENTOS TÉRMICOS DOS INSTRUMENTOS ENDODÔNTICOS

Em 2001, foi introduzido um novo conceito de instrumentos endodônticos com taper progressivo, secção transversal triangular, ângulo de corte helicoidal variável e ponta intativa, a Protaper (Dentsply). Sua proposta era de dividir o preparo do SCR em 6 instrumentos, de maneira a dividir o stress do preparo entre eles, diminuindo a

probabilidade de fratura do instrumento e trazendo uma maior previsibilidade ao preparo dos canais, por meio de propor sempre a mesma sequência de instrumentos independente da complexidade do caso (Ruddle, 2001; Gavini et al., 2018).

Em 2006, visando melhorar a flexibilidade e reduzir o número de fraturas dos instrumentos Protaper (Dentsply, Tulsa, EUA), foram modificadas algumas características de alguns dos instrumentos da série como sua secção transversal, bem como a adição de 2 novos instrumentos: F4 e F5. Este conjunto de modificações deu origem ao sistema Protaper Universal (Dentsply, Tulsa, EUA) (Gavini et al., 2018).

Neste mesmo pensamento de inovação também foram propostos instrumentos com maior capacidade de corte, visando uma menor frequência de fraturas. Dobonagy et al. (2002) propuseram o uso de instrumentos manuais de NiTi com secção transversal em forma de “S”. A proposta é que o instrumento teria melhor capacidade de corte por conta deste formato possibilitar maiores bordas cortantes, também por conta desta secção transversal em “S” os instrumentos teriam um corpo com menos massa que os instrumentos com secção transversal triangular. Idealmente isso proporcionaria a estes instrumentos uma maior resistência à fadiga cíclica. Porém neste estudo de 2002, onde foram comparados instrumentos manuais de NiTi em formato de “S” com instrumentos K-Flex de secção transversal triangular, o primeiro produziu aberrações anatômicas significativamente maiores que os instrumentos K-Flex.

Com esta mesma proposta, foi introduzido no mercado o sistema de instrumentos Mtwo (VDW, Munique, Alemanha) que possui secção transversal em “S” e possibilita o preparo mecânico do canal em todas as suas porções: coronária, média e cervical. Os instrumentos trabalham de uma maneira em que o instrumento utilizado cria um glidepath para o instrumento que virá na sequência, e assim por diante. Por possuir corpo com menos massa do que os anteriores, este instrumento propunha um preparo do SCR sem desgaste desnecessário de estrutura dental. Também por sua característica secção transversal em “S”, o instrumento propunha um corte de dentina mais eficiente, com menos stress sobre o instrumento, conseqüentemente proponto assim um instrumento que demore um maior número de ciclos para sucumbir à fadiga cíclica (Veltri et al., 2005; Plotino et al., 2007).

Também com a introdução de instrumentos com diferentes secções transversais, foi apresentados o instrumento K3 (Sybron Endo, Califórnia, EUA) que possui uma secção transversal helicoidal, onde se propõe uma área de menor contato do

instrumento com as paredes do canal, de maneira que o instrumento possua maior resistência a fadiga cíclica. Ao mesmo tempo, a característica de possuir uma menor área do instrumento tocando as paredes do canal teoricamente proporcionam ao instrumento uma maior eficiência e capacidade de corte, e assim vários novos conceitos de instrumentos foram gradativamente introduzidos no mercado com diferentes secções transversais, geometrias, tapers, diâmetro e assim por diante (Schäfer; Florek, 2003).

Até então, as estratégias para tornar um instrumento endodôntico mecanizado de NiTi mais confiável, eficiente e resistente à fadiga cíclica era realizar alterações em sua secção transversal, ângulo helicoidal e diminuir o quanto possível o volume do corpo do instrumento, para que tivesse menos massa. Foi então que em 1999, dando atenção não à geometria do instrumento, mas sim à sua superfície, a FKG (La Chaux-de-Fonds, Suíça) um tratamento eletroquímico da superfície dos instrumentos, chamado de Eletropolimento. Este se trata de um processo que se dá após a usinagem dos instrumentos e promete aumentar a eficiência de corte do instrumento, eliminar possíveis defeitos causados pelo próprio processo de usinagem e portanto, aumentar sua resistência à fadiga cíclica (Anderson et al., 2007).

Ao mesmo tempo em que novos instrumentos rotatórios de NiTi eram introduzidos no mercado a todo instante, com suas mais variadas características, secções transversais e tratamentos de superfície, a preocupação com a falha destes instrumentos por fadiga cíclica e torsional continuava constante. Foi então que em 2008, Gassan Yared em um trabalho publicado no International Endodontic Journal, propôs não um novo tipo de instrumento, mas sim uma nova cinemática como opção à rotatória. Neste trabalho Yared descrevia sua técnica da seguinte maneira: 1) Após acesso à câmara pulpar do dente, era realizada a odontometria dos canais com instrumento manual K #8 e negociação destes com instrumentos manuais K #10 e K #15 com contínua irrigação com NaClO 2,5% e lubrificante intracanal; 2) Um único instrumento Protaper F2 (Dentsply, Tulsa, EUA) era utilizado para preparo do canal em toda a sua extensão em um movimento chamado de recíprocante. Este movimento recíprocante consistia de um avanço do instrumento no sentido horário de 40% de um giro completo e um retrocesso no sentido anti-horário de 20% de um giro completo. Esta cinemática era acompanhada de pequenos movimentos de bicada, para que o instrumento avance no canal. A proposta é que durante este retrocesso de 20%, houvesse alívio do stress sobre o instrumento, reduzindo sua chance de fratura por

fadiga cíclica. Dessa maneira, Yared propunha um preparo mecânico do canal mais seguro e com menor risco de contaminação cruzada, já que o instrumento seria descartado ao final do uso neste dente (Yared, 2008).

Em 2007, seguindo a tendência de tratamentos de superfície dos instrumentos, a empresa Tulsa Dental desenvolveu uma nova liga metálica de NiTi chamada M-Wire. Esta liga é composta por 55,8% de seu peso em Ni e 44,2% de seu peso em Ti. Para que esta liga seja fabricada ela passa por um tratamento térmico característico, de temperaturas variadas, feito antes que o instrumento endodôntico seja usinado. Esta liga consegue conter em sua composição o NiTi em sua fase Martensítica e Fase R ao mesmo tempo, enquanto ainda mantém características de SE. A partir de então se deu o início da era dos instrumentos rotatórios de NiTi com tratamentos térmicos. Exemplos dos instrumentos com tratamento térmico M-Wire são o Protaper NEXT (Dentsply, Tulsa, EUA) que além do tratamento M-Wire, possui eixo de rotação excêntrico, e Profile Vortex (Detsply Sirona, York, EUA) (Gavini et al., 2018).

Em 2008, a empresa Sybron Endo (Califórnia, EUA) também introduziu em alguns de seus instrumentos de NiTi mecanizados um outro tipo de tratamento térmico que acontece após a usinagem do instrumento. Este tratamento térmico permite que o instrumento atinja a fase transitória entre a fase martensita e austenita da liga de NiTi: a Fase “R”, quando ocorre o resfriamento da fase austenita para a martensita. Instrumentos com este tratamento térmico tem suas características de flexibilidade aumentadas além de eliminar os efeitos causados pelo stress da usinagem. Exemplos de instrumentos com este tipo de tratamento térmico são a K3XF (Sybron, Califórnia, EUA) e a Twisted File (Sybron, Califórnia, EUA). Esta última foi o primeiro instrumento mecanizado de NiTi fabricado com deformação plástica (por torção, assim como as limas K-Flex manuais), e não por usinagem (Plotino et al., 2012; Haapasalo; Shen, 2013).

Em 2010, surgiram os instrumentos NiTi mecanizados com tratamento CM-Wire (DS Dental, Tenesse, EUA), o Hyflex CM. Após a usinagem dos instrumentos, a liga metálica de Nitinol 508 (a mesma que a Tulsa Dental utilizou para fabricar instrumentos com tratamento M-Wire), passa por um constante aquecimento e consequente resfriamento que possibilita à liga ter controle sobre o EMF. Dessa maneira, instrumentos que possuem tratamento térmico CM podem ser pré curvados antes de ser colocados dentro do canal, realizar um preparo mais cêntrico dada a sua flexibilidade, se adaptando melhor à anatomia interna do canal radicular, menor

possibilidade de transporte do canal e conseqüentemente maior resistência à fadiga cíclica (Testarelli et al., 2011; Pinheiro et al., 2018).

Em 2011 unindo os conceitos trazidos por Yared (2008) e com os avanços tecnológicos na fabricação de instrumentos endodônticos de NiTi com tratamento térmico, surgiram os primeiros instrumentos puramente reciprocantes: WaveOne e Reciproc. O WaveOne lançado Dentsply (EUA) tem como conceito o uso de instrumento único para preparo do canal, assim como proposto por Yared. E seu movimento reciprocante se dá com um avanço no sentido anti-horário e um alívio no sentido horário. A amplitude do movimento no sentido anti-horário é de 5 vezes maior que a amplitude do movimento no sentido horário. A cada 3 conjuntos de movimento, o instrumento dá um giro completo de 360°. Sua velocidade de funcionamento é de 250 rpm. O instrumento Reciproc (VDW, Munique, Alemanha) partiu do mesmo princípio. Este realiza movimento de corte/avanço no sentido anti horário e um alívio no sentido horário, porém com ângulos de movimentação diferentes, mas também ao final de 3 conjuntos de movimentação, completavam um giro de 360°. Desta maneira, assim como proposto por Yared, instrumentos com este movimento poderiam ter uma maior resistência à fadiga cíclica (Berutti et al., 2011; Gavini et al., 2012; Bürklein et al., 2014).

Em 2012, a Dentsply Sirona introduziu ainda uma nova maneira de se realizar tratamentos térmicos em instrumentos com a liga CM. A partir do constante aquecimento e subsequente resfriamento das ligas metálicas, foi observado que era possível aumentar ou diminuir a quantidade e espessura da camada de óxido de titânio na superfície destes instrumentos, dando a eles características únicas de flexibilidade e resistência, além de dar uma coloração única à esta liga. Exemplos são o tratamento Blue e Gold. As ligas com tratamento Blue possuem uma espessura de óxido de titânio entre 60 e 80 nm, enquanto as ligas com tratamento Gold possuem espessura da camada de óxido de titânio entre 100 e 140 nm. Alguns instrumentos fabricados com estas ligas são a Profile Vortex Blue (Dentsply Sirona, X1 Blue (MK Life, Porto Alegre, Brasil), Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha), Wave One Gold e Protaper Gold (Dentsply Sirona, EUA) (Shen et al., 2016).

Em 2015, um outro tipo de tratamento térmico para instrumentos mecanizados de NiTi foi introduzido no mercado: o Max Wire (Martensita-Austenita Eletropolido Flex, FKG, Suíça). A característica única deste material era a de que enquanto em temperatura ambiente, o instrumento permanece em um estado praticamente todo

martensita. Já em temperaturas acima de 35 °C, o instrumento se encontra em fase completamente austenita. Isso permitiu que a FKG criasse uma série de instrumentos que em teoria poderiam se adaptar melhor ao formato original do SCR. Exemplos são os instrumentos XP Endo Finisher, XP Endo Retreatment, XP Endo Shaper (FKG, Suíça). O fato de os instrumentos poderem alternar entre as fases austenita, R e Martensita da temperatura ambiente para a temperatura corpórea também alertou os pesquisadores sobre a teórica necessidade controlar a temperatura durante os testes de fadiga dos instrumentos, bem como realizar estudos para verificar em quais fases de transformação cada instrumento se encontra em temperatura ambiente e corpórea (Pedullà et al., 2014; Bao et al., 2017; Azizi et al., 2021).

Em 2016, a empresa Coltene (Ohio, EUA) desenvolveu ainda um novo método de fabricação de instrumentos mecanizados com tratamento CM, à base das ligas de NiTi 495. Estes instrumentos ao invés de serem usinados ou torcidos, são fabricados por erosão do fio de NiTi a partir de uma descarga elétrica. Este processo é feito sem contato direto com o instrumento, com isso o preservando contra possíveis defeitos neste pelos processos de usinagem ou torção, dando origem ao instrumento Hyflex EDM. Também com a alteração dos pontos de transformação entre as fases austenita e martensita da liga de NiTi, este instrumento é relatado por ter sua resistência à fadiga cíclica aumentada em até 700% quando comparado com sua resistência à fadiga cíclica em temperatura ambiente (Pirani et al., 2016; Pedullà et al., 2016; Iacono et al., 2017).

## 2.4 TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA

O estudo da temperatura de transformação martensítica dos instrumentos endodônticos começou a ser realizado à medida que novos tratamentos térmicos foram introduzidos no mercado.

Almeida et al. (2019) estudaram a temperatura de transformação dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue e encontraram que os instrumentos Reciproc tem sua temperatura  $A_s$  em 14,8°C e  $A_f$  em 38,3°C. Já a temperatura encontrada de  $R_s$  foi de 31,1°C e  $R_f$  foi de 23,9°C. Se encontrando em um misto de Fase-R e Fase Austenita em temperatura ambiente e basicamente em Fase Austenita quanto em temperatura corpórea. Os resultados para as temperaturas de transformação

martensítica dos instrumentos Reciproc Blue foram:  $R_f$  27,5°C,  $R_s$  46,8°C,  $A_s$  33,8°C e  $A_f$  51,8°C. Dessa maneira, Estando basicamente em Fase-R quando em temperatura ambiente e em um misto de Fase-R e Fase Austenita quando em temperatura corpórea.

Generali et al. (2020) encontraram temperaturas de transformação martensítica para os instrumentos Reciproc e Reciproc Blue através do estudo de diferencial de calorimetria destes instrumentos. Os autores afirmam que a temperatura de  $A_s$  dos instrumentos Reciproc é de 5,2°C, enquanto a temperatura  $A_s$  dos instrumentos Reciproc Blue é de 24,5°C. Afirmam ainda que os instrumentos Reciproc não completam sua transformação para Fase Austenita em temperatura corpórea, enquanto os instrumentos Reciproc Blue sim.

Sobotkiewicz et al. (2021) estudaram a temperatura de transformação martensítica dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue. Para os instrumentos Reciproc as temperaturas encontradas foram:  $M_s$  44,88°C,  $M_f$  23,72,  $A_s$  26,76,  $A_f$  51,42°C, estando em um misto de Fase Austenita e Martensita tanto em temperatura ambiente quanto em temperatura corpórea. Para os instrumentos Reciproc Blue, as temperaturas encontradas foram de  $M_s$  32,55,  $M_f$  24,09,  $R_s$  12,71°C,  $A_s$  30,24 e  $A_f$  37,08°C. Desta maneira estando totalmente em Fase Austenita quando em temperatura corpórea e em Fase Martensita quando em temperatura ambiente.

Keskin et al. (2021) também realizaram o estudo de diferencial de calorimetria dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, porém informando apenas a temperatura  $A_f$  destes instrumentos que foi de 41°C e 35°C, respectivamente. Demonstrando que os instrumentos Reciproc quando em temperatura corpórea se encontram totalmente em Fase Austenita, enquanto os instrumentos Reciproc Blue, não.

## 2.5 TESTES DE FADIGA CÍCLICA

Pruett et al. (1997) observou que as características dos instrumentos mecanizados de NiTi que estavam sendo desenvolvidos possuíam características mecânicas muito diversas das limas de aço. Ele verificou que a American Dental Association (ADA) preconizava (especificação ADA nº28) dois tipos de teste para os instrumentos endodônticos: o torsional (onde a ponta da lima deveria ser presa e torcida para se avaliar a deformação plástica) e o de carga lateral ( em que os

instrumentos são flexionados em ângulos pré determinados de 30°, 45° e 60° e a força necessária para atingir esses ângulos é medida. Com isso foi observado que as forças de tensão sofridas por um instrumento de NiTi mecanizado em rotação constante são diferentes das sofridas por instrumentos manuais. Enquanto rodando em uma região de curvatura, o instrumento sofre constantemente forças de compressão e descompressão, fazendo com que o metal sofra fadiga e frature abaixo de seu limite elástico. A partir deste pensamento surgiu o conceito de Fadiga Cíclica no estudo dos instrumentos endodônticos. Dadas as diferenças de características previamente apresentadas e a falta de um método para se avaliar a resistência dos instrumentos endodônticos à fadiga cíclica, Pruett et al. (1997) neste mesmo trabalho propôs um aparato (Figura 2.3) de teste que pudesse reproduzir condições próximas às encontradas no interior do canal radicular, para avaliar a resistência dos instrumentos endodônticos de NiTi quanto à fadiga cíclica. Este aparato constava de um tubo metálico reto de formato cilíndrico, com diâmetro interno de 0,83mm. Em uma das extremidades deste tubo foi feita uma curvatura que varia entre 30°, 45° e 60° e um raio de curvatura de 2mm e 5mm (totalizando 6 tipos de curvatura simulada). O instrumento como mencionado, era introduzido em uma das extremidades de maneira que sua ponta ativa ficasse livre e acoplada a um dinamômetro para o número de rotações por minuto (RPM) pudesse ser quantificado. Para este estudo em específico foram utilizados instrumentos LightSpeed #30 e #40. Quando avaliadas as rotações, os instrumentos #30 se mostraram mais resistentes a 750 rpm, 1300 rpm e 2000 rpm.

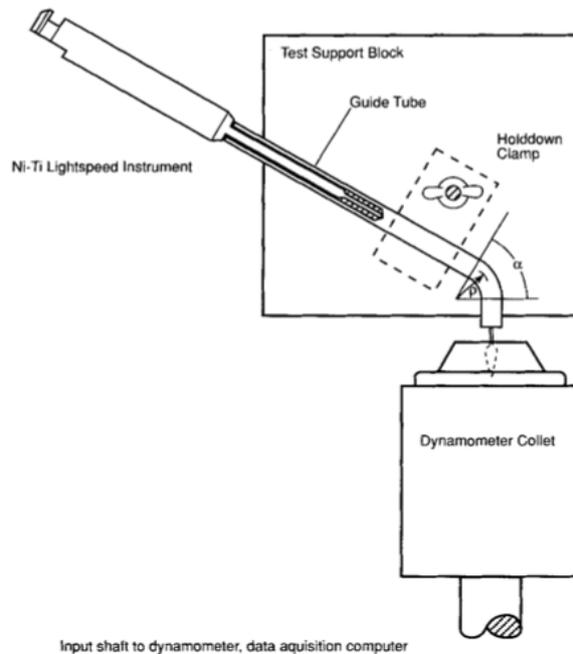
Mize et al. (1998) verificaram o efeito da esterilização sobre a resistência à fadiga cíclica de instrumentos LighSpeed #40 em canais simulados em tubos cilíndricos com curvaturas de 30° e raios de 2mm ou 5mm. Os instrumentos do grupo que passaram por esterilização e os que não passaram pelo processo de esterilização não apresentaram diferença estatística quanto à resistência à fadiga cíclica. A única diferença estatística apresentada foi entre os grupos com raio de curvatura de 2mm e 5mm.

Utilizando deste mesmo conceito, Yared et al. (1999) testaram à fadiga cíclica instrumentos Profile com taper 0.06, após uso clínico simulado em dentes extraídos. O teste de fadiga cíclica de deu em canal simulado com curvatura de 90°, após uso clínico simulado com hipoclorito de sódio (NaClO), e esterilização com calor seco. Os autores concluíram que a esterilização com calor seco e o uso clínico simulado prévio não reduz a resistência do instrumento à fadiga cíclica.

Haïkel et al. (1999) utilizaram para simular o canal radicular, um bloco metálico com um sulco em formato de “V” de maneira que pudesse acomodar o instrumento e simular curvaturas de 5mm e 10mm. Foram testadas neste experimento instrumentos Profile, Hero e Quantec, todos com taper 0.02, 0.04 e 0.06. Os autores concluíram que para todos os instrumentos, quando menor o raio de curvatura do canal simulado, menor será também a resistência dos instrumentos Profile, Hero e Quantec à fadiga cíclica.

Yared et al. (2000) testaram à fadiga cíclica, em um tubo metálico com ângulo de curvatura de 90° e raio de 2mm instrumentos Profile 0.06 de tamanho 15 até 40, após uso clínico com hipoclorito de sódio 2,5% e esterilização com calor seco. Os autores concluíram não houve diferença estatística na fadiga cíclica dos instrumentos utilizados em 4 dentes molares e os dentes que não foram utilizados clinicamente.

Figura 2.3 – Ilustração do primeiro equipamento descrito para teste de resistência à fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos de NiTi



Fonte: Pruett et al. (1997, p. 79).

Melo et al. (2002) realizaram o teste de fadiga cíclica de instrumentos Profile e Quantec de diâmetros variados em um aparato similar ao de Pruett et al. (1997), com uma angulação de curvatura de 45° e raio de 5mm. As amostras foram divididas em

um grupo controle e outro grupo que passou pelo processo de esterilização com calor seco 5 vezes. Os autores concluíram que quanto maior o diâmetro destes instrumentos testados, menor era o número de ciclos até a fratura. Também concluíram que para estes instrumentos em específico, os ciclos de esterilização aumentavam a resistência dos instrumentos à fadiga cíclica.

Fife et al. (2004) testaram à fadiga cíclica instrumentos Protaper em um canal cilíndrico de metal, simulando uma curvatura apical de ângulo de 90° e raio de 5mm, à uma velocidade de 350 rpm. Os instrumentos foram divididos em 3 grupos: grupo controle, grupo em que os instrumentos foram utilizados e 2 molares antes do teste de fadiga cíclica e outro grupo em que os instrumentos foram utilizados em 4 molares antes do teste de fadiga cíclica. O estudo mostrou que nessas condições os instrumentos S2 e F2 duram significativamente mais tempo quando são novos, que os instrumentos utilizados por mais de uma vez em condições clínicas.

Ullman e Peters (2005), também realizou o teste de fadiga cíclica nos instrumentos Protaper (Dentsply, Tulsa, EUA) em um canal cilíndrico simulando uma curvatura apical de ângulo de 90° e raio de 5mm, com velocidade de rotação de 250 rpm. Destes resultados, os autores calcularam o número médio de ciclos que estes instrumentos foram capazes de suportar até a fratura. Então, com um novo grupo de instrumentos novos, foram rotacionados em 30%, 60% e 90% da média de ciclos obtidas anteriormente e submeteram as amostras ao teste de fadiga torsional. Como resultados, os autores encontraram que os instrumentos Protaper quando utilizados previamente, tem sua resistência à falha por torção significativamente reduzidas.

Berutti et al. (2006) avaliaram a influência do NaClO 5% sobre a fadiga cíclica dos instrumentos Protaper. As amostras foram divididas em 3 grupos: o grupo controle (sem imersão em NaClO), o segundo grupo em que os instrumentos tiveram toda sua parte ativa imersa em NaClO 5% à uma temperatura de 50°C durante 5 minutos, e o terceiro grupo em que os instrumentos foram imersos totalmente em NaClO 5% à uma temperatura de 50°C durante 5 minutos. Após as imersões os instrumentos foram testados à fadiga cíclica em um tubo cilíndrico de metal que simulava um canal com curvatura apical de ângulo de 90° e raio de 5mm. O estudo observou que os instrumentos do grupo 3 fraturavam com uma quantidade significativamente menos de ciclos do que os instrumentos não imersos em NaClO. Ainda, após a separação dos fragmentos das amostras, estas foram avaliadas sob a magnificação de

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que mostrou regiões dos instrumentos que sofreram corrosão pelo NaClO.

Grande et al. (2006) testaram à fadiga cíclica instrumentos Mtwo (VDW, Munique, Alemanha) e Protaper (Dentsply, Tulsa, EUA). A aparato de teste consistia de um bloco metálico que simulava um canal com curvatura de 60° e raios de 2mm e 5mm. O objetivo do estudo foi de verificar o tamanho a relação entre o diâmetro de cada milímetro destes materiais e sua frequência de fratura devido à fadiga cíclica. A avaliação do volume exato de cada milímetro destes instrumentos foi feito através de um microtomógrafo (SkyScan 1072, Bélgica). Após compilação dos resultados foi possível observar que para os instrumentos citados, quanto maior a massa de metal na dada porção do instrumento, menor era a sua resistência à fadiga cíclica.

Lopes et al. (2009) estudaram a influência da velocidade de rotação dos instrumentos Protaper (Dentsply, Tulsa, EUA) F3 e F4 para a resistência à fadiga cíclica. O aparato de teste utilizado foi um tubo metálico simulando um canal com com curvatura de raio 6mm. Os instrumentos foram testados nas velocidades de 300 rpm e 600 rpm até a fratura dos mesmos. Para diminuir os efeitos da fricção entre o instrumento e a parede do canal simulado, esta foi lubrificada com glicerina, e o tempo até a fratura foi anotada em segundos por um relógio cronômetro (Mitutoyo Sul-America Ltda, SP, Brasil). O estudo observou que os instrumentos rotacionados à 600 rpm fraturaram por fadiga cíclica com um número de ciclos significativamente menor que os instrumentos rotacionados à 300 rpm. Ainda, os fragmentos foram observados sob a magnificação de MEV (JSM 5800, Tóquio, Japão) e foi constatado que os instrumentos F3 e F4 que fraturaram sob fadiga cíclica neste estudo não sofreram deformação plástica.

Plotino et al. (2010) testaram à fadiga cíclica os instrumentos Protaper Universal (Dentsply, Tulsa, EUA), Flexmaster (VDW, Munique, Alemanha), Mtwo (VDW, Munique, Alemanha) e Profile (Dentsply, Tulsa, EUA) em uma bloco metálico que possuía um canal simulado de curvatura apical de ângulo 90° e raio de 2mm. Os instrumentos foram rotacionados livremente a uma taxa de 300 rpm, acionados por um motor elétrico (VDW Silver, VDW, Munique, Alemanha), até que fosse detectada a fratura deste instrumento. Os instrumentos que obtiveram maior número de ciclos até a fratura foram respectivamente: Mtwo, Profile, Flexmaster e Protaper Universal.

Também em 2010, Lopes et al. testaram à fadiga cíclica instrumentos Protaper S2 (Dentsply, Tulsa, EUA) em um tubo metálico simulando um canal com curvatura e

raio 6mm. Os instrumentos foram acionados por um contra ângulo de redução 16:1 (TC-Motor 3000, Goldach, Suíça) e rotacionados à uma velocidade de 300 rpm. As amostras foram separadas em dois grupos: no primeiro grupo foi feito o teste de fadiga cíclica de maneira estática, já no segundo grupo o operador realizava um movimento axial de 3mm à cada 2 segundos. Este segundo grupo foi denominado de teste dinâmico. Foi observado que os instrumentos do grupo que realizou o teste de fadiga cíclica dinâmico atingiram um número de ciclos até a fadiga cíclica significativamente maior que o grupo que realizou o teste de modo estático. Ainda, as amostras dos fragmentos dos instrumentos separados foram observadas sob a magnificação de MEV (JSM 5800, Tóquio, Japão) e a deformação plástica nos instrumentos fraturados não foi observada.

Inan et al. (2011) testaram à fadiga cíclica 420 instrumentos Mtwo 10.04, 15.05, 20.06, 30.05, 35.04 e 40.04. O estudo dividiu as amostras em instrumentos novos e usados. Os instrumentos usados foram obtidos a partir do uso clínico em pacientes. Após o uso nos pacientes, estes instrumentos foram lavados e esterilizados com calor úmido a 134 °C. Para o teste de fadiga cíclica foi utilizado um aparato de metálico que simulava um canal com raios de curvatura de 5mm e de 10mm e ângulo de 60°. Os instrumentos então foram rotacionados a uma velocidade de 250 rpm por um motor elétrico (X-Smart, Dentsply, Tulsa, EUA). Para evitar os efeitos da atrição dos instrumentos com a borda do aparato metálico de teste, o aparato foi lubrificado com óleo (WD-40, Inglaterra). O raio de curvatura se mostrou ter efeito significativo na resistência à fadiga cíclica. Os instrumentos dos grupos com raio de curvatura de 5mm obtiveram menor número de ciclos até a fratura que os instrumentos dos grupos com raio de curvatura de 10mm.

Em 2006, Tripi et al. estudaram a fadiga cíclica dos instrumentos Profile (Dentsply, Tulsa, EUA), RaCe (FKG, Suíça) com tratamento de superfície e sem o tratamento, K3, Sybron, Califórnia, EUA), Hero (Micro-Mega, França) e Mtwo (Sweden & Martina, Pádoa, Itália). O teste de fadiga cíclica se deu em um bloco metálico simulando um canal com curvatura de ângulo de 45° e raio de 10mm. Todos os instrumentos eram do tipo 25.04 e foram rotacionados neste aparato à uma velocidade de 300 rpm por um motor elétrico (ATR-Tecknika, Itália). Para lubrificar a interface entre instrumento e parede interna do bloco metálico foi utilizado um óleo lubrificante (Lubrifluid, Ben Air, Suíça). Pôde-se observar que os instrumentos RaCe com tratamento de superfície resistiram significativamente mais tempo que os instrumentos

RaCe sem tratamento de superfície ao teste de fadiga cíclica. Ainda, sob a análise de MEV (LEO 1550, Alemanha), se observou que os instrumentos RaCe com tratamento eletroquímico de superfície possuem defeitos, porém em quantidade significativamente menor que os instrumentos sem este tratamento eletroquímico.

Yao et al. (2006) compararam a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos Profile (Dentsply, Tulsa, EUA), K3 (Sybron, Califórnia, EUA) e Race (FKG, Suíça). O estudo comparou instrumentos de tamanho 25 e 40, de taper 0.04 e 0.06. Cada instrumento foi acionado em rotação constante de 300 rpm em um canal simulado metálico de curvatura de ângulo de 60° e raio de 5mm. O estudo ainda utilizou de um teste de fadiga cíclica dinâmico, com movimentos axiais de 3mm a cada 1 segundo de acionamento. Com a compilação dos resultados, se observou que em todos os grupos os instrumentos K3 foram significativamente mais resistentes à fadiga cíclica que os outros testados, com exceção dos instrumentos Profile 40.04 e 40.06 que, juntamente com os instrumentos K3 foram mais resistentes à fadiga cíclica que os instrumentos Race.

Também para avaliar a influência do tratamento de superfície eletroquímico nos instrumentos endodônticos, Anderson et al. (2007) estudaram a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos EndoWave (J. Morita, Osaka, Japão), Profile (Dentsply, Tulsa, EUA) e Race (FKG, La Chaux-de-Fonds, Suíça). Os instrumentos foram acionados por um motor elétrico (ATR Motor, Dentsply, Tulsa, EUA) à uma velocidade de 280 rpm em um tubo metálico cilíndrico que simulava um canal com curvatura de ângulo 45° e 90°, e raio de 5mm. Para lubrificar a interface entre instrumento e parede interna do tubo metálico com utilizado pó de grafite. De maneira geral, os instrumentos que possuíam eletropolimento em sua superfície obtiveram valores significativamente mais altos que os instrumentos que não possuíam tratamento de superfície. Ainda, o estudo observou amostras novas destes instrumentos sob MEV (Phillips XL30, Oregon, EUA) e foram observadas em todas as amostras sulcos provenientes da usinagem, trincas e zonas de corrosão por pite. Estes defeitos foram significativamente menos observados nos instrumentos com tratamento eletroquímico de superfície que nos instrumentos sem este tratamento.

Outro instrumento que possui tratamento eletroquímico de superfície é o EndoSequence (Brassler, EUA). Ray et al. (2007) testaram à fadiga cíclica instrumentos EndoSequence e K3 (Sybron, Califórnia, EUA). Os instrumentos utilizados foram dos tamanhos 25 e 40, com conicidade 0.04 e 0.06. Estes foram

rotacionados à uma velocidade de 300 rpm e 600 rpm, com movimentos axiais de 1,5 mm. Os instrumentos K3 obtiveram valores de ciclos até a fratura significativamente maiores que os instrumentos EndoSequence. Em avaliação através de fotomicrografias (LEO 435, Zeiss, Alemanha) os instrumentos possuíam características compatíveis com fratura por fadiga cíclica.

Gavini et al. (2012) testaram a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc R25 (VDW, Munique, Alemanha) em um aparato de testes que consistia de um canal simulado em um bloco metálico com ângulo de curvatura de 40°, e com a ajuda de um pino metálico, esta curvatura teve seu raio estabelecido em 5mm. Estes instrumentos foram testados tanto em seu movimento reciprocante convencional, quanto em rotação contínua. Ainda, o aparato de testes permitiu que fosse realizado um movimento axial, simulando um movimento de bicada com amplitude de 2mm, a cada segundo de teste. Os instrumentos acionados em movimento reciprocante obtiveram número de ciclos estatisticamente significantes maior que aqueles acionados em rotação contínua. Ainda, foram realizadas fotomicrografias dos fragmentos fraturados por MEV (LEO 435, Zeiss, Alemanha) que demonstraram características compatíveis com fratura por fadiga cíclica.

Pedullà et al. (2014) compararam a resistência à fadiga cíclica de instrumentos Reciproc R25, Waveone Primary e Protaper F2 em um bloco metálico que simulava um canal com curvatura de ângulo 60° e raio de 5mm. Antes do teste de fadiga cíclica propriamente dito, os instrumentos foram imersos dinamicamente em NaClO 5% (Hypoclean), EDTA 17% (Ogna, Milão, Itália) ou EDTA Plus 17%, e depois lavados com água bi-destilada para neutralizar seus efeitos. Para neutralizar os efeitos do atrito entre o instrumento e o bloco de metal, o aparato de testes foi lubrificado com óleo (Super Oil, Singer, EUA). Foi observado que a imersão destes instrumentos em NaClO 5% antes do teste de fadiga cíclica não reduziu o tempo até a fratura por fadiga cíclica, diferentemente dos instrumentos que foram imersos em EDTA, que tiveram seu tempo até a fratura reduzidos. Ainda, sob avaliação de MEV (JMS-6060, JEOL, Japão) apresentou microfotografias compatíveis com fratura por fadiga cíclica.

Vasconcelos et al. (2016) testaram à fadiga cíclica os instrumentos Hyflex CM (Coltene, Califórnia, EUA), TRUShape (Dentsply, Tulsa, EUA), Vortex Blue (Dentsply, Tulsa, EUA) e Protaper Universal (Dentsply, Tulsa, EUA) em um aparato que simulava um canal com ângulo de curvatura de 60° e raio de 3mm, através de um sistema de 3 pinos. Os instrumentos foram testados em temperaturas de 20°C e 37°C imersos em

água destilada aquecida. Os instrumentos Hyflex CM e TRUShape foram acionados à 500 rpm e os instrumentos Vortex Blue e Protaper Universal à 300 rpm. Quando testados em 20°C, o instrumento Hyflex CM demonstrou maior resistência à fadiga cíclica que todos os outros instrumentos. Quando testados à 37°C, os instrumentos Hyflex CM e Vortex Blue não apresentaram diferença estatística significativa, porém foram superiores ao restante dos instrumentos. Ainda foi realizado um teste de diferencial de calorimetria que demonstrou que os instrumentos Hyflex foram os únicos dentre os testados que quando à temperatura de 37°C ainda não atingiram completamente sua fase austenita.

Adigüzel e Turgay (2017) avaliaram a resistência a fadiga cíclica de instrumentos Reciproc R40 e Reciproc R40 Blue (VDW, Munique, Alemanha) em um bloco metálico que simulava um canal com curvatura única (ângulo de 60° e raio de 5mm) e outro grupo que simulava uma dupla curvatura (coronal: 60° e 5mm e apical: 70° e 2mm). Para evitar os efeitos do atrito entre o instrumento e o bloco metálico, o aparato foi lubrificado com óleo (WD-40, Milton Keynes, Inglaterra). Em todos os grupos o tempo de fadiga cíclica foi maior para os instrumentos Reciproc R40 Blue.

Plotino et al. (2018) estudaram a fadiga cíclica de instrumentos Reciproc R 25 (VDW, Munique, Alemanha) e Reciproc R25 Blue (VDW, Munique, Alemanha) frente as diferentes condições de uso, com temperaturas de 0°C, 20°C, 35°C e 39°C. Os instrumentos foram acionados por um motor elétrico (VDW Gold, VDW, Munique, Alemanha) em um bloco metálico que simulava um canal com curvatura de ângulo 60° e raio de 5mm. Este foi imerso em água destilada nas temperaturas já citadas. O instrumento Reciproc Blue foi mais resistente à fadiga cíclica que o instrumento Reciproc em todas as condições. Quanto mais alta era a temperatura do grupo, menor era a resistência à fadiga cíclica para todos os instrumentos. Ainda foi realizado no estudo uma avaliação de diferencial de calorimetria que mostrou que ambos os instrumentos estão quase que totalmente em sua fase austenita quando em temperatura corpórea.

Pedullà et al. (2018) testaram instrumentos Reciproc R25 e Reciproc R25 Blue (VDW, Munique, Alemanha) à fadiga cíclica com vários ângulos de deflexão (0°, 10°, 20° e 30°) antes da entrada no canal. O aparato de testes utilizou um bloco metálico que simulava um canal com curvatura de ângulo de 60° e raio de 5mm. Para reduzir os efeitos do atrito entre o instrumentos e o bloco metálico o aparato foi lubrificado com óleo (Super Oil, Singer, EUA). Os instrumentos Reciproc Blue demonstraram

maior resistência à fadiga cíclica quando inseridos em uma angulação de 0° ou 10°. Os instrumentos Reciproc apresentaram maior resistência à fadiga cíclica quando inseridos em uma angulação de 30°.

Keles et al. (2019a) estudaram se a imersão prévia em água destilada ou NaClO influencia a resistência à fadiga cíclica de instrumentos Reciproc R25 (VDW, Munique, Alemanha), Waveone Primary (Dentsply, Suíça), Reciproc R25 Blue (VDW, Munique, Alemanha) e Waveone Primary Gold (Dentsply, Suíça). Os grupos deste teste se dividiram entre os tipos de imersão: grupo controle, imersão em água destilada a 37°C, imersão em NaClO a 37 °C e imersão em NaClO a 60 °C. Para o estudo da fadiga cíclica destes instrumentos foi realizado um teste de fadiga cíclica dinâmico em que o dispositivo realizou movimentos axiais durante o acionamento dos instrumentos. Para evitar os efeitos do atrito entre o instrumento e o bloco metálico, o aparato foi lubrificado com óleo (WD-40, Milton Keynes, Inglaterra). Os instrumentos Reciproc Blue obtiveram resistência à fadiga cíclica significativamente maior que os instrumentos Reciproc em todas as condições.

Novamente, Keles et al. (2019b) testaram a fadiga cíclica estática e dinâmica dos instrumentos Reciproc, Reciproc Blue, Waveone e Waveone Gold em um bloco metálico simulando um canal com curvatura de ângulo 60° e raio de 5mm em 4 grupos: 1) Temperatura de 22°C com teste de fadiga estático, 2) 22°C com teste de fadiga dinâmico, 3) 35°C com teste de fadiga estático e 4) 35°C com teste de fadiga dinâmico. O teste dinâmico realizou movimentos axiais de 3mm a cada 2 segundos. Os resultados mostraram que todos os instrumentos tiveram maior tempo até a fratura quando realizado o teste dinâmico e que quando avaliado efeito da temperatura entre os grupos, esta não apresentou diferença estatisticamente significativa.

Sobotkiewicz et al. (2021) realizaram teste de fadiga cíclica em instrumentos Waveone, Waveone Gold (Dentsply, Tulsa, EUA), Reciproc e Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha) em blocos de cerâmica que simulava canais com curvatura de ângulo de 60° e raio de 3mm. Durante todo o teste, este bloco cerâmico ficou imerso em água deionizada à uma temperatura de 37°C, para simulação da temperatura corpórea. Os instrumentos com tratamento térmico tiveram número de ciclos até a fratura significativamente maior do que os instrumentos sem tratamento térmico. Ainda foi realizada avaliação de diferencial de calorimetria mostrou que todos os instrumentos testados estão quase que totalmente em sua fase austenita durante temperatura corpórea.



### **3 PROPOSIÇÃO**

Dadas as mais variadas formas de estudar a fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos, por conta da falta de padronização entre as metodologias empregadas e principalmente por conta dos resultados conflitantes entre trabalhos que estudam os mesmos instrumentos sob controle de temperatura, este trabalho teve como objetivo realizar revisão sistemática com cálculo de Meta Análise, das publicações dos últimos 10 anos que estudaram a fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue com e sem controle de temperatura. A hipótese de nulidade é que os resultados do teste de fadiga cíclica desses instrumentos não são influenciados pelo controle de temperatura.







## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta revisão sistemática tomou como base a recomendação do protocolo sugerido pela PRISMA (Page et al., 2021).

### 4.1 MATERIAL

01 microcomputador pessoal com acesso à internet via *vpn.internuvem.usp.br*

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Formulação da pergunta

Antes que a busca por trabalhos científicos fosse efetivamente realizada, foi formulada pergunta, baseada nas observações feitas nas publicações científicas dos anos recentes: “O controle de temperatura realizado em testes de fadiga cíclica influencia no resultado comparativo dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue?”.

#### 4.2.2 Identificação dos estudos

Para a identificação destes estudos foi realizada uma busca nas bases de dados PubMed e Scopus com a seguinte estratégia de busca: [(cyclic fatigue) AND (endodontics)], no dia doze de outubro de dois mil e vinte (12/10/2020).

Foram considerados os trabalhos publicados nos últimos 10 anos.

#### 4.2.3 Critérios de inclusão

Para que os estudos fossem incluídos para a revisão completa deste estudo, foram definidos os seguintes critérios de inclusão:

- Ser um estudo de fadiga cíclica estática;
- O dispositivo de teste da fadiga cíclica compreender um canal simulado de material estável que não seja alterado pelo meio em que o estudo seja realizado;
- O ângulo da curvatura do canal simulado ser de 30° a 60° graus;

- O raio desta mesma curvatura ser entre 3mm e 5mm;
- O canal simulado apresentar uma única curvatura;
- Ser um experimento com os instrumentos Reciproc ou Reciproc Blue;
- Ser um trabalho experimental;
- Ser um estudo *in vitro*;
- Ser um estudo publicado na língua inglesa

#### 4.2.4 Critérios de exclusão

Os estudos não foram considerados caso se enquadrassem nos seguintes critérios:

- Ser um estudo de fadiga cíclica dinâmico;
- Material do canal simulado não ser estável e ter suas propriedades modificadas pelo meio em que o estudo é realizado;
- O ângulo da curvatura do canal simulado ser menor que 30° ou maior que 60°;
- O raio da curvatura menor que 3mm ou maior que 5mm
- Ser um experimento que estude instrumentos que não fossem Reciproc ou Reciproc Blue;
- Ser um estudo *in vivo*;
- Ser um estudo *ex vivo*;
- Não ser um trabalho experimental;
- Ser um estudo publicado em outra língua que não a inglesa

#### 4.2.5 Obtenção dos dados

Para esta etapa de seleção dos trabalhos, o estudo contou com a participação de três revisores (B.B, L.S e L.E) e outros três observadores experientes em revisões sistemáticas (G.G, M.S e L.N)

Para a seleção e leitura das publicações foi utilizada a plataforma Rayyan (<http://rayyan.ai/>), que permite exportar a lista dos trabalhos resultantes das buscas nas bases de dados PUBMED e SCOPUS, seus resumos, realizar inclusão ou exclusão dos trabalhos, e também acesso simultâneo aos revisores e observadores da revisão sistemática de toda a busca.

Para que um trabalho fosse incluído foi necessário a seleção deste por todos os três revisores, de acordo com os critérios de inclusão acima descritos. Casos não houvesse unanimidade na seleção de algum trabalho, uma mesa redonda era realizada para que se tentasse um consenso entre os revisores. Caso ainda não houvesse um consenso, os observadores entravam em cena para tentar elucidar o impasse. Se porventura ainda assim não houvesse unanimidade, o que fosse decidido pela maioria era acatado.

Os trabalhos restantes foram avaliados pelos revisores e foi seguida a sequência de avaliação acima descrita.

#### 4.2.5.1 Seleção das publicações

Feita a identificação dos estudos, a busca retornou um total de 474 resultados, dos quais 106 foram identificadas como duplicatas e foram automaticamente excluídos, restando um total de 368 publicações únicas.

Foram disponibilizados aos revisores e observadores os resumos destas 368 publicações através da plataforma Rayyan, para que estes pudessem lê-los e analisar se os trabalhos atendiam a todos os critérios de inclusão citados na seção 4.2.3. Destas 368, 39 publicações (Quadro 4.1) foram consideradas por unanimidade dos revisores que atendiam aos critérios de inclusão.

Estas 39 publicações resultantes foram lidas na íntegra para divisão dos grupos. Grupo 1: publicações que realizam controle de temperatura a  $37 \pm 2$  °C durante o teste de fadiga cíclica; Grupo 2: publicações que não realizam controle de temperatura durante o teste de fadiga cíclica. A distribuição destas publicações se encontra nas Quadros 4.2 e 4.3. Também, algumas das publicações estão presentes nos dois grupos pois dentro das publicações alguns autores possuem subgrupos em que o teste de fadiga cíclica é realizado com controle de temperatura e outros em que o controle de temperatura não é realizado.

Para que a análise fosse feita à contento, foi necessário utilizar publicações que estudassem ao mesmo tempo os instrumentos Reciproc (RC) e Reciproc Blue (RB). Todos os trabalhos que constam nos Quadros 4.4 e 4.5 possuem o estudo da fadiga cíclica dos dois instrumentos.

Os trabalhos de fadiga cíclica podem fornecer seus resultados de 3 maneiras: em tempo até a fratura (TF), número de ciclos até a fratura (NCF), ou ambos. Para

que a análise comparativa fosse feita à contento foram selecionados os trabalhos que possuísem o método mais frequente tanto no Grupo 1 quanto no Grupo 2. Coincidentemente, todas as publicações estudadas por esta revisão sistemática que realizam teste simultâneo de Reciproc e Reciproc Blue apresentaram seus resultados em tempo até a fratura (TF), com exceção das publicações que apresentaram seus resultados em forma não numérica.

Alguns trabalhos que estudam os dois instrumentos simultaneamente não foram incluídos por não apresentarem dados numéricos em sua seção de resultados (De-Deus et al., 2017; Özyürek et al., 2017).

As publicações que cumpriram todos os quesitos supra citados constam nos Quadros 4.4 e 4.5, e foram selecionadas para a realização da análise estatística.

Um fluxograma com os resumos do processo de seleção das publicações é apresentado na Figura 4.1.

#### **4.2.6 Tabulação dos dados e análise estatística**

Os dados de TF fornecidos pelos trabalhos selecionados foram tabulados, juntamente com seus valores de desvio padrão e foram submetidos a análise estatística através do programa RSTUDIO, utilizando os pacotes TIDYVERSE, META, METAFOR e DMETAR.

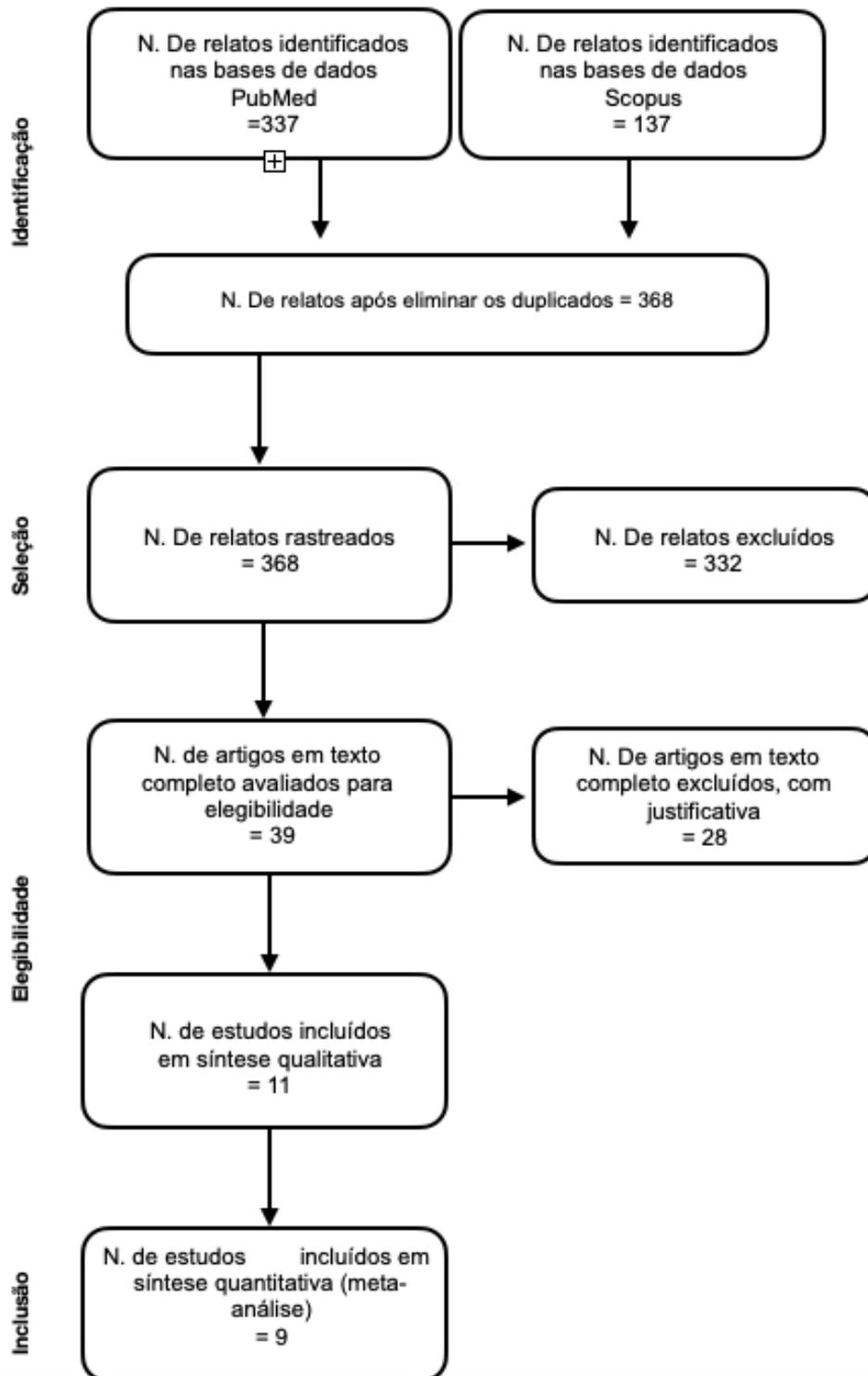
Os dados obtidos de cada publicação estão demonstrados nos Quadros 4.6 a 4.9.

Para a distribuição dos dados, os grupos dentro das publicações que realizaram teste de fadiga cíclica com instrumento Reciproc foram considerados “Grupo Controle”. Os grupos dentro dos estudos selecionados que realizaram teste de fadiga cíclica em instrumentos Reciproc Blue foram considerados “Grupo Experimental”.

Para realizar a meta-análise de fadiga cíclica foi utilizada a diferença média padronizada (SMD), com respectivo intervalo de confiança de 95% como medida do efeito.

O método de análise utilizado foi a ponderação de variância inversa, por meio de um modelo de efeitos randômicos.

Figura 4.1 – Fluxograma do resumo do processo de seleção das publicações para a revisão sistemática e metaanálise



Fonte: o autor.

Quadro 4.1 – Relação das publicações que se adequam aos critérios de inclusão, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, raio da curvatura do canal simulado (mm) e ângulo da curvatura do canal simulado (°)

Autor(es)	Ano	Raio da curvatura (mm)	Ângulo de curvatura ( ° )
Plotino et al.	2012	5	60
Arias et al.	2012	3	60
Pedullà et al.	2013a	5	60
Pedullà et al.	2013b	5	60
Pedullà et al.	2014	5	60
Higuera et al.	2015	5	60
Arslan et al.	2016	3	60
Pedullà et al.	2016	3	60
Özyürek	2016	5	60
Silva et al.	2016	5	60
Elnaghy e Elsaka	2017	5	60
De-Deus et al.	2017	5	60
Yilmaz e Özyürek	2017	5	60
Champa et al.	2017	5	60

continua

continuação

Gündoğar e Özyürek	2017	5	60
Alcalde et al.	2017	5	60
Alcalde et al.	2018	5	60
Nabavizadeh et al.	2018	5	60
Özyürek et al.	2017	5	60
Topçuoğlu et al.	2018	5	60
Adigüzel e Turgay	2017	5	60
Özyürek et al.	2018	5	45
Pedullà et al.	2018	5	60
Pedullà et al.	2019	5	60
Klymus et al.	2019	5	60
Erik e Özyürek	2019	5	60
Silva et al.	2019	5	60
Plotino et al.	2018	5	60
Keles et al.	2019a	5	60
Keles et al.	2019b	5	60

continua

conclusão

Rubio et al.	2019	3,5	60
Al-Obaida et al.	2019	5	60
Gündoğar et al.	2019	5	60
Yılmaz et al.	2019	5	60
Generali et al.	2020	4	60
Thu et al.	2020	3	60
Duque et al.	2020	5	30
Sobotkiewicz et al.	2021	3	60
Keskin et al.	2021	5	60

Fonte: o autor.

Quadro 4.2 – Publicações com controle de temperatura durante o teste de fadiga cíclica contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, temperatura durante a realização do teste (°C) e quais sistemas foram utilizados entre Reciproc (RC), Reciproc Blue (RB) ou ambos

Autor(es)	Ano	Temperatura (°C)	Sistema(s)
Elnaghy e Elsaka	2017	37	RC
Klymus et al.	2019	37	RB
Erik e Özyürek	2019	37	RB
Silva et al.	2019	37	RC e RB
Plotino et al.	2018	35	RC e RB
Gündoğar et al.	2019	35	RB
Yılmaz et al.	2019	35	RB
Keles et al.	2019b	35	RC e RB
Sobotkiewicz et al.	2021	37	RC e RB
Keskin et al.	2021	37	RC e RB

Fonte: o autor

Quadro 4.3 – Publicações sem controle de temperatura durante o teste de fadiga cíclica contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, temperatura durante a realização do teste, e quais sistemas foram utilizados entre Reciproc (RC), Reciproc Blue (RB) ou ambos

Autor(es)	Ano	Temperatura	Sistema(s)
Plotino et al.	2012	Ambiente	RC
Arias et al.	2012	Ambiente	RC
Pedullà et al.	2013a	Ambiente	RC
Pedullà et al.	2013b	Ambiente	RC
Pedullà et al.	2014	Ambiente	RC
Higuera et al.	2015	Ambiente	RC
Arslan et al.	2016	Ambiente	RC
Pedullà et al.	2016	Ambiente	RC
Özyürek	2016	Ambiente	RC
Silva et al.	2016	Ambiente	RC
Elnaghy e Elsaka	2017	Ambiente	RC
De-Deus et al.	2017	Ambiente	RC e RB
Yilmaz et al.	2017	Ambiente	RC
Champa et al.	2017	Ambiente	RC

continua

continuação

Gündoğar e Özyürek	2017	Ambiente	RB
Alcalde et al.	2017	Ambiente	RC
Alcalde et al.	2018	Ambiente	RB
Nabavizadeh et al.	2018	Ambiente	RC
Özyürek et al.	2017	Ambiente	RC e RB
Topçuoğlu et al.	2018	Ambiente	RB
Adigüzel e Turqay	2017	Ambiente	RC e RB
Özyürek et al.	2018	Ambiente	RB
Pedullà et al.	2018	Ambiente	RC e RB
Pedullà et al.	2019	Ambiente	RC
Klymus et al.	2019	Ambiente	RB
Plotino et al.	2018	Ambiente	RC e RB
Keles et al.	2019a	Ambiente	RC e RB
Keles et al.	2019b	Ambiente	RC e RB
Rubio et al.	2019	Ambiente	RC
Al-Obaida et al.	2019	Ambiente	RC e RB

continua

conclusão

Gündoğar et al.	2019	Ambiente	RB
Generali et al.	2020	Ambiente	RC e RB
Thu et al.	2020	Ambiente	RB
Duque et al.	2020	Ambiente	RB

Fonte: o autor.

Quadro 4.4 – Trabalhos selecionados que realizam teste de fadiga cíclica com controle de temperatura simultaneamente nos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, incluindo nome do(s) autor(es), ano da publicação e tipo de dados fornecidos pela publicação em número de ciclos até a fratura (NCF) ou tempo até a fratura (TF)

Autor(es)	Ano	Tipo de dados fornecidos (NCF, TF)
Plotino et al.	2018	TF
Silva et al.	2019	TF
Keles et al.	2019b	TF
Keskin et al.	2020	TF

Fonte: o autor.

Quadro 4.5 – Trabalhos selecionados que realizam teste de fadiga cíclica sem controle de temperatura simultaneamente nos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, incluindo nome do(s) autor(es), ano da publicação e tipo de dados fornecidos pela publicação em número de ciclos até a fratura (NCF) ou tempo até a fratura (TF) ou ambos

Autor(es)	Ano	Tipo de dados fornecidos (NCF, TF ou Ambos)
Adigüzel e Turgay	2017	TF
Pedullà et al.	2018	TF
Al-Obaida et al.	2019	Ambos
Keles et al.	2019a	TF
Generali et al.	2020	Ambos

Fonte: o autor

Quadro 4.6 – Dados extraídos dos grupos Reciproc das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica com controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão

Autor(es)	Ano	Tempo até a fratura (s)	Desvio padrão
Silva et al.	2019	180	28
Plotino et al.	2018	106	35
Keles et al.	2019b	224,5	50,6
Keskin et al.	2021	498,75	141,9

Fonte: o autor.

Quadro 4.7 - Dados extraídos dos grupos Reciproc Blue das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica com controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão

Autor(es)	Ano	Tempo até a fratura (s)	Desvio padrão
Silva et al.	2019	429	26
Plotino et al.	2018	191	51
Keles et al.	2019b	254,4	62,9
Keskin et al.	2021	776,43	53,52

Fonte: o autor.

Quadro 4.8 - Dados extraídos dos grupos Reciproc das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica sem controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão.

Autor(es)	Ano	Tempo até a fratura (s)	Desvio padrão
Adigüzel e Turgay	2017	356,5	52,29
Pedullà et al.	2018	231,5	20,01
Al-Obaida et al.	2019	180,42	35,43
Keles et al.	2019a	241,67	67,00
Generali et al.	2020	210	33

Fonte: o autor.

Quadro 4.9 - Dados extraídos dos grupos Reciproc Blue das publicações que realizam o teste de fadiga cíclica sem controle de temperatura, contendo nome do(s) autor(es), ano da publicação, tempo decorrido até a fratura em segundos e o desvio padrão

Autor(es)	Ano	Tempo até a fratura (s)	Desvio padrão
Adigüzel e Turgay	2017	556,4	64,11
Pedullà et al.	2018	288,25	30,83
Al-Obaida et al.	2019	421,92	155,09
Keles et al.	2019a	259	99
Generali et al.	2020	327	65

Fonte: o autor.



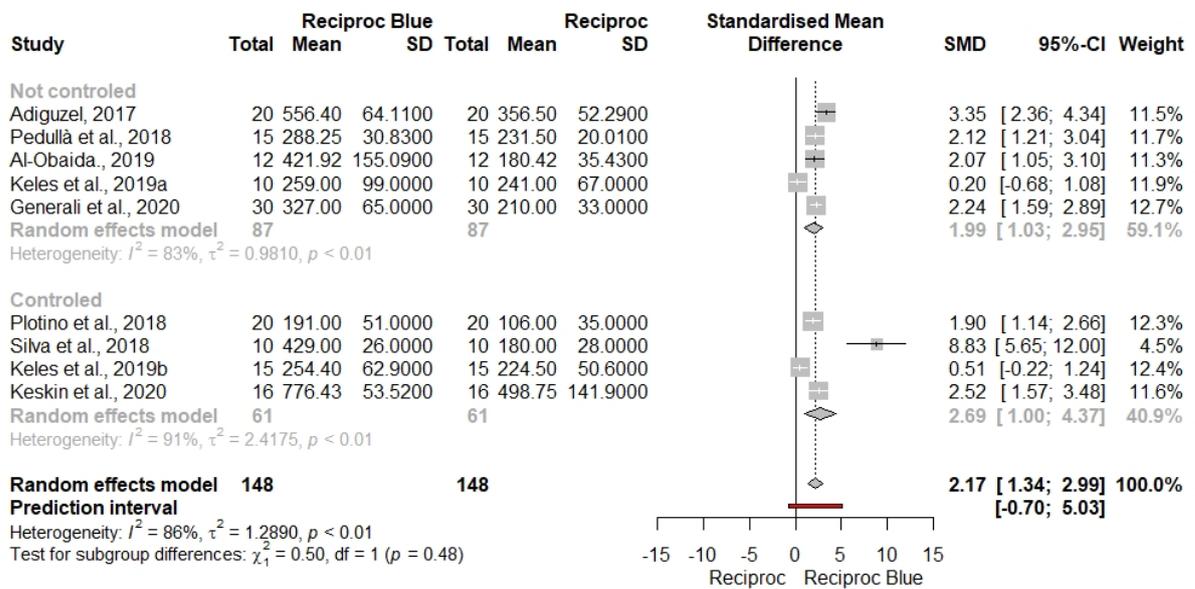




## 5 RESULTADOS

Os resultados dos estudos incluídos são apresentados em um gráfico de floresta (Figura 5.1), e um gráfico de funil (Figura 5.2). Em relação ao controle de temperatura nos ensaios de fadiga cíclica de instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa, com tendência de maior resistência à fratura dos instrumentos Reciproc Blue.

Figura 5.1 – Representação do gráfico de floresta demonstrando resultados da meta análise



Fonte: o autor.

Na coluna da esquerda do Gráfico de Floresta estão identificados quais os estudos foram incluídos na meta-análise, divididos em 2 subgrupos: Com controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica (Controlled) e sem controle de temperatura durante o ensaio (Not controled).

Na coluna da esquerda estão os valores da SMD, que correspondem à diferença média entre os grupos experimentais e os grupos controle nos estudos. Quanto maior este valor, maior é a diferença entre o grupo experimental e o grupo controle do estudo. A linha vertical corresponde ao efeito nulo. A distância entre a caixa correspondente ao estudo e esta linha, também representa a SMD. Quanto maior for essa distância, maior é a diferença entre os grupos controle e experimentais. Os resultados de SMD do Subgrupo 1 foram de 0,51 para o estudo de Keles et al. (2019a), 1,90 para o estudo de Plotino et al. (2018), 2,52 para o estudo de Keskin et al. (2021) e 8,83 para o estudo de Silva et al. (2018). No subgrupo 2 os resultados de SMD foram de 0,20 para Keles et al. (2019b), 2,07 para o estudo de Al-Obaida et al. (2019), 2,12 para Pedullà et al. (2018), 2,24 para o estudo de Generali et al., 2020 e 3,35 para Adigüzel e Turqay (2017).

As linhas horizontais de cada estudo correspondem ao intervalo de confiança dos estudos. Quanto maior for esta linha, maior é o intervalo de confiança do estudo, e conseqüentemente menos confiável ele é. Da mesma maneira, quando menor o comprimento desta linha, menor será o intervalo de confiança do estudo, e mais confiável ele será.

O tamanho da caixa (quadrado correspondente a cada estudo) corresponde ao peso deste estudo sobre a meta-análise. Quanto maior o tamanho da caixa, mais influente é o estudo sobre os resultados. Da mesma maneira, quanto menor a caixa, menos influente será o estudo.

O gráfico também demonstra o cálculo da heterogeneidade entre os estudos ( $I^2$ ). Uma heterogeneidade menor que 50% é considerada baixa e indica que os estudos possuem maior similaridade entre suas metodologias. Uma heterogeneidade maior que 50% significa uma maior dissimilaridade entre as metodologias dos estudos. A heterogeneidade da meta-análise do Subgrupo 1 neste trabalho foi de 91%, e do Subgrupo 2 foi de 86%.

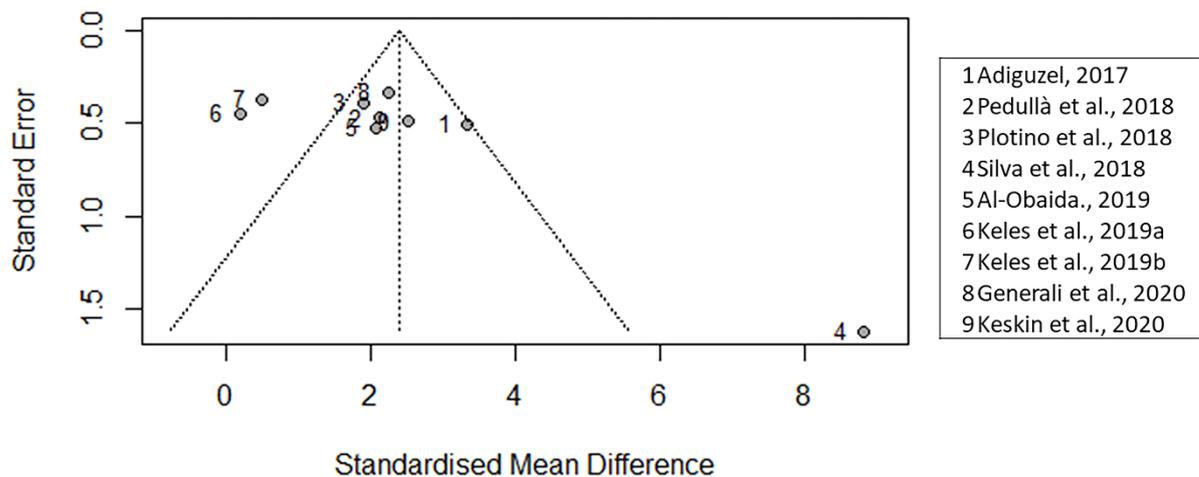
As figuras em forma de diamante representam o cálculo da meta análise total e dos grupos. A diamante do Subgrupo 1 possui um intervalo extenso e toca a linha vertical. Isso indica que dentro deste subgrupo não foi encontrada diferença estatisticamente significativa. Para o Subgrupo 2, o diamante indica que houve diferença estatisticamente significativa, e os instrumentos Reciproc Blue são mais resistentes à fadiga cíclica que os instrumentos Reciproc. O terceiro diamante

corresponde à meta análise total e indica que não há diferença estatisticamente significativa entre os Subgrupos 1 e 2.

A Figura 5.2 demonstra o risco de viés dos trabalhos incluídos na meta-análise através de um gráfico de funil.

Nesta figura 5.2, as publicações estão representadas por pontos e suas respectivas legendas estão no quadro do lado direito da imagem.

Figura 5.2 – Representação do gráfico de funil que demonstra o risco de viés dos trabalhos incluídos na meta análise



Fonte: o autor.

O gráfico de funil é utilizado para a verificação de risco de viés das publicações através da distribuição das publicações ao redor da SMD (linha vertical pontilhada) e os trabalhos se encontram dentro deste funil invertido não apresentam risco de viés. Vários fatores podem influenciar em sua confecção como o desvio padrão dos trabalhos, tamanho da amostra dos trabalhos, peso dos trabalhos na meta análise e até mesmo a heterogeneidade.

Este gráfico de funil demonstra que as publicações de Adigüzel e Turqay (2017), Pedullà et al. (2018), Plotino et al. (2018), Al-Obaida et al. (2019), Generali et al. (2020) e Keskin et al. (2021) se encontram dentro deste funil invertido.

As publicações de Silva et al. (2019), Keles et al. (2019a) e Keles et al. (2019b) se encontram fora deste funil e portanto apresentam risco de viés.

## 6 DISCUSSÃO

O preparo químico mecânico sem dúvidas é indispensável para o sucesso da terapia endodôntica, e o advento dos instrumentos mecanizados de NiTi foram fundamentais para um melhor domínio da anatomia interna dos canais radiculares que por vezes pode ser extremamente complexa.

Atualmente está disponível ao clínico, uma variedade muito grande de instrumentos de NITI. Além de possuir domínio sobre a técnica recomendada para cada instrumento é de fundamental importância para o sucesso da terapia endodôntica (Haapasalo; Shen, 2013; Gavini et al., 2018).

Um dos principais pontos a serem observados em relação ao insucesso da terapia endodôntica está relacionada à fratura destes instrumentos por fadiga cíclica. Desde a introdução deste assunto por Pruett et al. (1997), com a proposição de um modelo de estudo da fadiga cíclica, vários instrumentos surgiram no mercado, e com eles, as publicações trouxeram também, diversos modelos de estudo de fadiga cíclica.

Para contribuir com a redução das fraturas dos instrumentos endodônticos por fadiga cíclica, diversas estratégias foram propostas como a cinemática recíproca e o tratamento térmico das ligas com efeito de controle de memória, dando cada vez mais segurança à etapa de preparo mecânico do sistema de canais radiculares (Yared, 2008; Gavini et al, 2012; Pirani et al., 2016).

Recentemente, dada a variedade de instrumentos endodônticos disponíveis no mercado com diferentes tipos de tratamento térmico, se considerou importante a realização do controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica destes instrumentos, já que cada tipo de tratamento térmico concede à liga de NiTi diferentes temperaturas de transformação martensítica, podendo estar em uma fase quando em temperatura ambiente e outra quando em temperatura corpórea (Pedullà et al., 2014).

Sendo assim, se faz fundamental estudar a necessidade ou não da realização do controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos de NiTi.

Como resultado do cálculo de meta análise deste trabalho, não foi encontrada diferença estatística entre os testes com controle de temperatura e os testes sem controle de temperatura.

Desde o primeiro aparato de testes relatado por Pruett et al. (1997), que realizava o teste de fadiga cíclica utilizando um tubo metálico de formato cilíndrico, diversos outros ensaios foram surgindo com o tempo. Também estão relatados na literatura a utilização de blocos metálicos onde o canal simulado era feito em sua superfície, fazendo com que grande parte do instrumento toque as paredes desse canal, e para prevenir os efeitos deletérios do atrito entre o instrumento e a parede do canal simulado, algum lubrificante normalmente é utilizado (Plotino et al., 2018; Keskin et al., 2018; Keles et al., 2019a). Outro sistema comumente utilizado é o sistema de três pinos metálicos, onde estes pinos ficam posicionados de tal maneira que o instrumento fique angulado, como se estivesse dentro de um canal simulado. A vantagem deste modelo é a não utilização de um lubrificante sobre o instrumento, visto que neste modelo uma menor área do instrumento fica em contato com o dispositivo de teste (Arias et al., 2020). Ainda, com o início da realização dos testes com controle de temperatura, se viu a necessidade de realizar a imersão deste aparato de testes em líquidos como água, solução salina e hipoclorito de sódio. Com receio que essas soluções de imersão pudessem causar corrosão no aparato de testes, alguns autores propuseram que o canal simulado fosse esculpido em blocos de cerâmica, normalmente usinado em tornos utilizados para a confecção de próteses dentárias (Huang et al., 2017; Erik; Öziürek, 2019; Keskin et al., 2021)

Para as publicações que realizaram teste de fadiga cíclica sem controle de temperatura, foi observada uma padronização da metodologia empregada. Os testes foram todos realizados em blocos metálicos que continham um canal que simulava curvatura com angulação de 60° e raio de 5mm, com exceção de Generali et al. (2020) que utilizou um raio de curvatura de 4mm. Para reduzir os efeitos deletérios entre a superfície do instrumento e a parede do canal foi utilizado óleo ou lubrificante endodôntico (Adigüzel; Turqay, 2017; Pedullà et al., 2018; Al-Obaida et al., 2019; Keles et al., 2019b).

Com exceção da publicação de Keles et al. (2019b), os outros estudos obtiveram individualmente resultados significativamente maiores para a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc Blue que os instrumentos Reciproc. Os resultados encontrados neste cálculo de meta análise correspondem com os resultados encontrados pelos autores em seus trabalhos, e podem ser encontrados na segunda seção da Figura 5, com a entitulação "Not Controlled" (Adigüzel; Turqay, 2017; Pedullà et al., 2018; Al-Obaida et al., 2019; Keles et al., 2019b).

O único estudo deste Subgrupo 2 que ficou no limiar do risco de viés, foi o estudo de Adigüzel e Turqay (2017). Este fato provavelmente pode ser explicado pelo fato do estudo ter utilizado para o teste de fadiga cíclica instrumentos Reciproc Blue R40 e Reciproc R 40, enquanto o restante dos estudos deste subgrupo utilizou instrumentos Reciproc R25 e Reciproc Blue R25.

O estudo de Silva et al. (2019) identificou um valor de tempo até a fratura significativamente maior para os instrumentos Reciproc Blue que para os instrumentos Reciproc. Após a realização da meta-análise esta publicação mostrou a maior valor de SMD entre todas as publicações do Subgrupo 1, tendendo a uma maior resistência dos instrumentos Reciproc Blue à fadiga cíclica. Ao mesmo tempo, esta publicação teve a menor área de caixa, demonstrando que o estudo teve o menor peso sobre a meta-análise, dentre todas as publicações do Subgrupo 1. Isso pode ser explicado por conta do aparato do teste, que utilizou um canal simulado de diâmetro 30.08, ao passo que os instrumentos Reciproc R25 e Reciproc Blue R25 utilizados neste estudo possuem diâmetro 25.08. Outra publicação deste mesmo Subgrupo 1 (Plotino et al., 2018) realizou o teste de fadiga com um canal simulado que reproduz exatamente o diâmetro destes instrumentos (25.08) e obteve resultados na meta-análise compatíveis com os outros estudos. Por conta do estudo de Silva et al. (2019) realizar o teste de fadiga cíclica em canal simulado maior que o próprio instrumento, talvez o stress colocado sobre ele seja menor, portanto de maneira equivocada, sugerindo resistência à fadiga cíclica muito maior (em valores absolutos) para os instrumentos Reciproc Blue, e por essa razão além do limite de viés, no gráfico de funil (Figura 5.2).

Durante o teste de fadiga cíclica com controle de temperatura dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue, Keles et al. (2019b) utilizou um aparato de testes que consistia de um micromotor elétrico (X-Smart Plus, Dentsply, EUA) na função "Reciproc". O instrumento conectado a este motor estava colocado em um bloco metálico que simulava um canal radicular com ângulo de curvatura de 60°, raio de 5mm e diâmetro constante de 120mm. Este bloco permaneceu imerso em água destilada à uma temperatura de 35°C, comportado em um recipiente metálico. Este trabalho não encontrou diferença estatisticamente significativa entre a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue tanto em uma temperatura controlada de 35°C e à temperatura ambiente. Outros estudos incluídos neste mesmo

Subgrupo 1 utilizaram canais simulados que se assemelham ao diâmetro do instrumento testados, como canais de diâmetro 25.08 (Keskin et al., 2021; Plotino et al., 2018) e 30.08 (Silva et al., 2019). É relatado na literatura que canais mais estreitos diminuem significativamente a resistência à fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos (Lopes et al., 2012). É possível que um canal simulado com diâmetro contínuo faça com que os instrumentos Reciproc e Reciproc Blue tenham um resultado de tempo até a fratura, quando testados à fadiga cíclica, diferente daqueles testados em canais simulados que possuem diâmetro mais próximo do instrumento que está sendo testado, isso talvez explique o fato de o estudo de Keles et al. (2019a) não tenha encontrado diferença estatisticamente significativa entre os instrumentos Reciproc e Reciproc Blue.

Os tratamentos térmicos concedem aos instrumentos características diferentes, por possuírem também temperaturas de transformação martensíticas diferentes. Instrumentos de NiTi convencional (sem tratamento térmico) como K3 (Sybron, Califórnia, EUA) e Protaper Universal (Dentsply, Tulsa, EUA) quando em temperatura ambiente, se encontram total ou parcialmente em sua fase austenita (Miyai et al., 2006). Para o instrumento Reciproc (VDW, Munique, Alemanha) feito com liga M-Wire, em temperatura ambiente se encontra em uma mistura de fases Austenita e Fase-R. Quando analisado em temperatura corpórea, se encontra basicamente em estado austenita (Almeida et al., 2019). De maneira similar, os instrumentos Hyflex CM (Coltene, EUA), quando em temperatura ambiente se encontram em uma mistura de fase Martensita e Austenita, já quando em temperatura corpórea se encontram basicamente em fase Austenita (Shen et al., 2013). Os instrumentos Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha) de maneira muito similar ao seu predecessor Reciproc M-Wire, quando em temperatura ambiente está basicamente em uma Fase-R e quando aquecido para temperatura corpórea, se encontra em uma mistura de Fase-R e fase Austenita (Almeida et al., 2019). Por conta do fato de os instrumentos endodônticos com e sem tratamento térmico se encontrem cada qual em fases diferentes quando em temperatura ambiente ou corpórea, se julgou necessário realizar controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica, para que seus resultados reproduzissem com mais exatidão a realidade clínica.

Diversos métodos foram utilizados ao longo dos anos para realizar o controle de temperatura durante os testes de fadiga cíclica, porém sem um padrão definido.. Keskin et al. (2018) e Keskin et al. (2021) realizaram os testes de fadiga cíclica em

água e para aquecê-la utilizaram resistências elétricas. Olcay et al. (2019) empregou água aquecida em um recipiente de plástico onde o teste de fadiga cíclica seria realizado, aguardando que a temperatura estivesse estabilizada em 37°C. Outros pesquisadores ainda relatam a utilização de um recipiente de vidro para comportar o líquido para a realização dos testes enquanto este era colocado sobre uma plataforma aquecida para que a temperatura da água fosse elevada e a utilização de pedras de gelo, para diminuí-la caso sua temperatura subisse acima da temperatura desejada (Arias et al., 2018; 2019). A grande variedade de métodos de aquecimento do meio em que o teste de fadiga cíclica pode produzir também resultados diferentes para o teste de fadiga de um mesmo instrumento, afirmação compatível com o resultado observado nesta meta análise.

Além do aquecimento do meio a ser testado, diversos métodos para realizar a conferência e manutenção desta temperatura são descritos. Keskin et al. (2021) e Olcay et al. (2019) utilizaram termostatos submersos no líquido de teste para realizar com a justificativa de que esta seria a maneira mais segura por não estar em contato com a superfície do líquido. Com este mesmo pensamento, Arias et al. (2019) sugere a utilização de termômetros de mercúrio submersos no líquido de teste, porém a visualização da temperatura instantânea pode ser um problema. Por outro lado, Huang et al. (2017) e Yılmaz et al. (2019) utilizaram um termômetro infravermelho para a medição da temperatura do líquido de testes, porém estes aferem somente a temperatura da superfície do líquido. A superfície do líquido por sua vez realiza a troca de calor com o meio externo, podendo expressar uma temperatura menor que a do seu interior. Como relatado por Silva et al. (2019), quanto mais elevada a temperatura dos testes, menor tende a ser a resistência do instrumento endodôntico à fadiga cíclica, por isso a correta tomada de temperatura também se faz fundamental para que os resultados sejam comparáveis com a realidade clínica.

O estudo de Silva et al. (2019) ainda descreve em sua metodologia que para a realização do controle de temperatura do ensaio de fadiga cíclica, preencheu os canais simulados com água em uma temperatura de 37°C, enquanto todas as outras publicações do Subgrupo 1 realizaram o controle de temperatura com todo o aparato (cabeça do contra ângulo, instrumento e canal simulado) imersos em água ou solução salina para garantir a na temperatura desejada. Como relatado por Hemptinne et al., (2015) a temperatura intracanal pode cair rapidamente quando um pequeno volume de solução aquecida é colocada em contato com o canal a temperatura corpórea. É

plausível de se afirmar que um pequeno volume de solução aquecida em um canal simulado pode rapidamente perder temperatura para o restante do aparato de testes de Silva et al. (2019). Após os cálculos de meta-análise anteriormente citados indicam uma discrepância entre os resultados encontrados por Silva et al. (2019) e o restante das publicações do Subgrupo 1. Além do ensaio ser realizado em um canal simulado com diâmetro maior que o restante (Plotino et al., 2018; Keles et al., 2019a; Keskin et al., 2021), o fato de a temperatura ser controlada de uma maneira que talvez não reflita adequadamente a realidade, pode fornecer ao instrumento maior tempo de funcionamento até a fratura como visto na publicação de Plotino et al. (2018) que observou um valor de tempo até a fratura significativamente maior para os instrumentos Reciproc e Reciproc Blue testados a 0°C e 20°C que os instrumentos testados a 35°C e ainda que os instrumentos à temperatura de 39°C, respectivamente.

Também no trabalho de Keles et al. (2019a), o controle de temperatura é realizado com a imersão do dispositivo de testes em água destilada à 35°C, em um recipiente metálico, enquanto os outros trabalhos deste mesmo Subgrupo 1 (Plotino et al., 2018; Keskin et al., 2021) esta imersão é feita em um recipiente plástico. É relatado na literatura que as ligas metálicas em geral apresentam condutividade térmica maior que os polímeros plásticos, ou seja, substâncias que estão em contato com uma superfície metálica tendem a perder calor com mais facilidade que aquelas que estão em contato com uma superfície plástica. Este fato pode fazer com que a temperatura durante a realização dos testes de Keles et al. (2019b) esteja mais baixa que o indicado, fazendo com que o instrumento de comporte de maneira diferente da qual se comportaria à uma temperatura de 35°C, podendo estar inclusive uma proporção austenita/martensita diferente da que apresentaria quando na temperatura acima citada (Almeida et al., 2019).

O cálculo de meta análise dos estudos do Subgrupo 1 demonstra que não há diferença estatística entre o Subgrupo 1 e o Subgrupo 2, quando comparados os instrumentos Reciproc e Reciproc Blue. Isso talvez seja explicado pelo fato de tanto em temperatura ambiente quanto em temperatura corpórea, os instrumentos Reciproc e Reciproc Blue estarem em fases da transformação martensítica muito parecidas, tendo assim uma proporção de resistência à fadiga cíclica muito parecida em ambas as temperaturas, quando comparados os dois instrumentos.

Apesar dos esforços para a eliminação das variáveis neste estudo como: utilização de instrumentos com iguais geometrias, diâmetros e secções transversais

(Reciproc e Reciproc Blue); mesma cinemática (movimento recíprocante acionada por motores elétricos em função “RECIPROC ALL”), teste de fadiga cíclica estático com padronização de ângulo e raio de curvatura; e controle de temperatura em nível corpóreo, parte dos estudos que realizaram controle de temperatura se encontram além do limite do risco de viés. Isso talvez possa ser explicado pela falta de padronização entre os estudos no que se refere à metodologia empregada no teste de fadiga cíclica. Este fato evidencia a necessidade da realização de mais estudos, com uma metodologia padrão, para que seja confirmada a real necessidade de se realizar o controle de temperatura para o estudo da fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos recíprocantes com e sem tratamento térmico.







## 7 CONCLUSÕES

Após a realização deste estudo de revisão sistemática e meta análise, conclui-se que:

- O controle de temperatura não interfere nos resultados dos ensaios de fadiga cíclica dos instrumentos Reciproc e Reciproc Blue.
- A disparidade tanto entre o dispositivo de canal simulado, quanto o método de controle de temperatura das publicações aqui avaliadas, proporcionou um risco de viés, reforçando a necessidade de padronização dos ensaios de fadiga cíclica.







## REFERÊNCIAS<sup>1</sup>

Adigüzel M, Turgay B. Comparison of the cyclic fatigue resistance of reciproc and reciproc blue nickel-titanium instruments in artificial canals with single and double (S-shaped) curvatures. *Eur Endod J*. 2017 Dec 12;2(1):1-4. doi: 10.14744/eej.2017.17038.

Al-Obaida MI, Merdad K, Alanazi MS, Altwaijry H, AlFaraj M, Alkhamis AA, Al-Madi EM. Comparison of cyclic fatigue resistance of 5 heat-treated nickel-titanium reciprocating systems in canals with single and double curvatures. *J Endod*. 2019 Oct;45(10):1237-41. doi: 10.1016/j.joen.2019.06.011.

Alcalde MP, Duarte MAH, Bramante CM, de Vasconcelos BC, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Pinto JC, Só MVR, Vivan RR. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig*. 2018 May;22(4):1865-71. doi: 10.1007/s00784-017-2295-8. Epub 2017 Dec 9. Erratum in: *Clin Oral Investig*. 2017 Dec 26.

Alcalde MP, Tanomaru-Filho M, Bramante CM, Duarte MAH, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilo-Pinto J, Só MVR, Vivan RR. Cyclic and torsional fatigue resistance of reciprocating single files manufactured by different nickel-titanium alloys. *J Endod*. 2017 Jul;43(7):1186-91. doi: 10.1016/j.joen.2017.03.008.

Almeida GC, Guimarães LC, Resende PD, Buono VTL, Peixoto IFC, Viana ACD. Torsional behaviour of Reciproc and Reciproc blue instruments associated with their martensitic transformation temperatures. *Int Endod J*. 2019 Dec;52(12):1768-72. doi: 10.1111/iej.13185.

Anderson ME, Price JW, Parashos P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*. 2007 Oct;33(10):1212-6. doi: 10.1016/j.joen.2007.07.007.

Andreasen GF, Hilleman TB. An evaluation of 55 cobalt substituted Nitinol wire for use in orthodontics. *J Am Dent Assoc*. 1971 Jun;82(6):1373-5. doi: 10.14219/jada.archive.1971.0209.

Arias A, Perez-Higueras JJ, de la Macorra JC. Differences in cyclic fatigue resistance at apical and coronal levels of Reciproc and WaveOne new files. *J Endod*. 2012 Sep;38(9):1244-8. doi: 10.1016/j.joen.2012.05.022.

---

<sup>1</sup> De acordo com estilo Vancouver.

Arias A, Macorra JC, Govindjee S, Peters OA. Correlation between temperature-dependent fatigue resistance and differential scanning calorimetry analysis for 2 contemporary rotary instruments. *J Endod*. 2018 Apr;44(4):630-4. doi: 10.1016/j.joen.2017.11.022.

Arias A, Hejlawy S, Murphy S, de la Macorra JC, Govindjee S, Peters OA. Variable impact by ambient temperature on fatigue resistance of heat-treated nickel titanium instruments. *Clin Oral Investig*. 2019 Mar;23(3):1101-8. doi: 10.1007/s00784-018-2543-6.

Arias A, Macorra JC, Govindjee S, Peters OA. Effect of gamma-ray sterilization on phase transformation behavior and fatigue resistance of contemporary nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig*. 2020 Sep;24(9):3113-20. doi: 10.1007/s00784-019-03185-4.

Arslan H, Alsancak M, Doğanay E, Karataş E, Davut Çapar İ, Ertas H. Cyclic fatigue analysis of Reciproc R25® instruments with different kinematics. *Aust Endod J*. 2016 Apr;42(1):22-4. doi: 10.1111/aej.12115.

Azizi A, Prati C, Schiavon R, Fitzgibbon RM, Pirani C, Iacono F, Pelliccioni GA, Spinelli A, Zamparini F, Puddu P, Bolelli G, Generali L. In-Depth metallurgical and microstructural analysis of oneshape and heat treated onecurve instruments. *Eur Endod J*. 2021 Apr;6(1):90-7. doi: 10.14744/eej.2021.63634.

Bao P, Shen Y, Lin J, Haapasalo M. In Vitro Efficacy of XP-endo finisher with 2 different protocols on biofilm removal from apical root canals. *J Endod*. 2017 Feb;43(2):321-5. doi: 10.1016/j.joen.2016.09.021.

Bennett J, Chung KH, Fong H, Johnson J, Paranjpe A. Analysis of Surface Characteristics of ProTaper Universal and ProTaper Next Instruments by Scanning Electron Microscopy. *J Clin Exp Dent*. 2017 Jul 1;9(7):e879-e85. doi: 10.4317/jced.54049.

Berutti E, Angelini E, Rigolone M, Migliaretti G, Pasqualini D. Influence of sodium hypochlorite on fracture properties and corrosion of ProTaper Rotary instruments. *Int Endod J*. 2006 Sep;39(9):693-9. doi: 10.1111/j.1365-2591.2006.01134.x.

Berutti E, Chiandussi G, Paolino DS, Scotti N, Cantatore G, Castellucci A, Pasqualini D. Effect of canal length and curvature on working length alteration with WaveOne reciprocating files. *J Endod*. 2011 Dec;37(12):1687-90. doi: 10.1016/j.joen.2011.09.014. Erratum in: *J Endod*. 2012 Apr;38(4):535.

Bürklein S, Börjes L, Schäfer E. Comparison of preparation of curved root canals with Hyflex CM and Revo-S rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2014 May;47(5):470-6. doi: 10.1111/iej.12171.

Champa C, Divya V, Sirekha A, Karale R, Shetty A, Sadashiva P. An analysis of cyclic fatigue resistance of reciprocating instruments in different canal curvatures after immersion in sodium hypochlorite and autoclaving: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2017 May-Jun;20(3):194-8. doi: 10.4103/0972-0707.218307.

Cheung GS, Peng B, Bian Z, Shen Y, Darvell BW. Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. *Int Endod J.* 2005 Nov;38(11):802-9. doi: 10.1111/j.1365-2591.2005.01020.x.

Civjan S, Huget EF, DeSimon LB. Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. *J Dent Res.* 1975 Jan-Feb;54(1):89-96. doi: 10.1177/00220345750540014301.

De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, Grande NM. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the reciproc files. *J Endod.* 2017 Mar;43(3):462-6. doi: 10.1016/j.joen.2016.10.039.

Dobó-Nagy C, Serbán T, Szabó J, Nagy G, Madléna M. A comparison of the shaping characteristics of two nickel-titanium endodontic hand instruments. *Int Endod J.* 2002 Mar;35(3):283-8. doi: 10.1046/j.1365-2591.2002.00492.x.

Duque JA, Bramante CM, Duarte MAH, Alcalde MP, Silva EJNL, Vivan RR. Cyclic Fatigue Resistance of Nickel-Titanium Reciprocating Instruments after Simulated Clinical Use. *J Endod.* 2020 Aug 18:S0099-2399(20)30607-5. doi: 10.1016/j.joen.2020.08.010.

Elnaghy AM, Elsaka SE. Effect of sodium hypochlorite and saline on cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold and Reciproc reciprocating instruments. *Int Endod J.* 2017 Oct;50(10):991-8. doi: 10.1111/iej.12712.

Erik CE, Özyürek T. Effects of etidronate, NaOCl, EDTA irrigation solutions and their combinations on cyclic fatigue resistance of nickel-titanium single-file rotary and reciprocating instruments at body temperature. *Odontology.* 2019 Apr;107(2):190-5. doi: 10.1007/s10266-018-0388-8.

Fife D, Gambarini G, Britto Lr Lr. Cyclic fatigue testing of ProTaper NiTi rotary instruments after clinical use. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004 Feb;97(2):251-6. doi: 10.1016/j.tripleo.2003.08.010.

Gavini G, Caldeira CL, Akisue E, Candeiro GT, Kawakami DA. Resistance to flexural fatigue of Reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. *J Endod.* 2012 May;38(5):684-7. doi: 10.1016/j.joen.2011.12.033.

Gavini G, Santos MD, Caldeira CL, Machado MEL, Freire LG, Iglecias EF, Peters OA, Candeiro GTM. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res.* 2018 Oct 18;32(suppl 1):e67. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0067.

Generali L, Puddu P, Borghi A, Brancolini S, Lusvarghi L, Bolelli G, Consolo U, Pedullà E. Mechanical properties and metallurgical features of new and ex vivo used Reciproc Blue and Reciproc. *Int Endod J.* 2020 Feb;53(2):250-64. doi: 10.1111/iej.13214.

Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J.* 2006 Oct;39(10):755-63. doi: 10.1111/j.1365-2591.2006.01143.x.

Grossman LI. Fate of endodontically treated teeth with fractured root canal instruments. *J Br Endod Soc.* 1968 Jul-Sep;2(3):35-7. doi: 10.1111/j.1365-2591.1968.tb01207.x.

Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. *J Endod.* 2017 Jul;43(7):1192-6. doi: 10.1016/j.joen.2017.03.009.

Gündoğar M, Özyürek T, Yılmaz K, Uslu G. Cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Twisted File Adaptive rotary files under different temperatures and ambient conditions. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2019 Summer;13(3):166-71. doi: 10.15171/joddd.2019.026.

Ha JH, Sigurdsson A, De-Deus G, Versluis A, Kwak SW, Kim HC. Torsional behavior of waveone gold endodontic file with the dedicated motor of the original waveone file. *Materials (Basel).* 2018 Jul 6;11(7):1150. doi: 10.3390/ma11071150.

Haapasalo M, Shen Y. Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. *Endod Top*. 2013 Sep;29(1):3-17. doi: <https://doi.org/10.1111/etp.12049>.

Haïkel Y, Serfaty R, Bateman G, Senger B, Allemann C. Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*. 1999 Jun;25(6):434-40. doi: 10.1016/S0099-2399(99)80274-X.

Hemptinne F, Slaus G, Vandendael M, Jacquet W, De Moor RJ, Bottenberg P. In Vivo Intracanal Temperature Evolution during Endodontic Treatment after the Injection of Room Temperature or Preheated Sodium Hypochlorite. *J Endod*. 2015 Jul;41(7):1112-5. doi: 10.1016/j.joen.2015.02.011.

Higuera O, Plotino G, Tocci L, Carrillo G, Gambarini G, Jaramillo DE. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. *J Endod*. 2015 Jun;41(6):913-5. doi: 10.1016/j.joen.2015.01.023.

Huang X, Liu Y. Effect of annealing on the transformation behavior and superelasticity of NiTi shape memory alloy, *Scripta Materialia*. 2001;45(2):153-60. doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-6462\(01\)01005-3](https://doi.org/10.1016/S1359-6462(01)01005-3).

Huang X, Shen Y, Wei X, Haapasalo M. Fatigue Resistance of Nickel-titanium Instruments Exposed to High-concentration Hypochlorite. *J Endod*. 2017 Nov;43(11):1847-51. doi: 10.1016/j.joen.2017.06.033.

Iacono F, Pirani C, Generali L, Bolelli G, Sassatelli P, Lusvarghi L, Gandolfi MG, Giorgini L, Prati C. Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *Int Endod J*. 2017 Mar;50(3):303-13. doi: 10.1111/iej.12620.

Inan U, Aydin C, Demirkaya K. Cyclic fatigue resistance of new and used Mtwo rotary nickel-titanium instruments in two different radii of curvature. *Aust Endod J*. 2011 Dec;37(3):105-8. doi: 10.1111/j.1747-4477.2010.00236.x.

Iqbal MK, Kohli MR, Kim JS. A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: a PennEndo database study. *J Endod*. 2006 Nov;32(11):1048-52. doi: 10.1016/j.joen.2006.03.001.

Keleş A, Eymirli A, Uyanık O, Nagas E. Influence of static and dynamic cyclic fatigue tests on the lifespan of four reciprocating systems at different temperatures. *Int Endod J*. 2019a Jun;52(6):880-886. doi: 10.1111/iej.13073.

Keles A, Uzunoglu Ozyurek E, Uyanik MO, Nagas E. Effect of temperature of sodium hypochlorite on cyclic fatigue resistance of heat-treated reciprocating files. *J Endod.* 2019b Feb;45(2):205-8. doi: 10.1016/j.joen.2018.11.003.

Keskin C, Inan U, Guler DH, Kalyoncuoğlu E. Cyclic Fatigue Resistance of XP-Endo Shaper, K3XF, and ProTaper Gold Nickel-titanium Instruments. *J Endod.* 2018 Jul;44(7):1164-7. doi: 10.1016/j.joen.2018.04.005.

Keskin C, Sivas Yilmaz Ö, Keleş A, Inan U. Comparison of cyclic fatigue resistance of Rotate instrument with reciprocating and continuous rotary nickel-titanium instruments at body temperature in relation to their transformation temperatures. *Clin Oral Investig.* 2021 Jan;25(1):151-7. doi: 10.1007/s00784-020-03346-w.

Klymus ME, Alcalde MP, Vivian RR, Só MVR, de Vasconcelos BC, Duarte MAH. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. *Clin Oral Investig.* 2019 Jul;23(7):3047-52. doi: 10.1007/s00784-018-2718-1.

Kuhn WG, Carnes DL Jr, Clement DJ, Walker WA 3rd. Effect of tip design of nickel-titanium and stainless steel files on root canal preparation. *J Endod.* 1997 Dec;23(12):735-8. doi: 10.1016/S0099-2399(97)80345-7.

Lin LM, Skribner JE, Gaengler P. Factors associated with endodontic treatment failures. *J Endod.* 1992 Dec;18(12):625-7. doi: 10.1016/S0099-2399(06)81335-X.

Lopes HP, Ferreira AA, Elias CN, Moreira EJ, de Oliveira JC, Siqueira JF Jr. Influence of rotational speed on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 2009 Jul;35(7):1013-6. doi: 10.1016/j.joen.2009.04.003.

Lopes HP, Britto IM, Elias CN, Machado de Oliveira JC, Neves MA, Moreira EJ, Siqueira JF Jr. Cyclic fatigue resistance of ProTaper Universal instruments when subjected to static and dynamic tests. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010 Sep;110(3):401-4. doi: 10.1016/j.tripleo.2010.05.013.

Lopes HP, Elias CN, Siqueira JF Jr, Soares RG, Souza LC, Oliveira JC, Lopes WS, Mangelli M. Mechanical behavior of pathfinding endodontic instruments. *J Endod.* 2012 Oct;38(10):1417-21. doi: 10.1016/j.joen.2012.05.005.

McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. Endodontic instrument fracture: causes and prevention. *Br Dent J.* 2013 Apr;214(7):341-8. doi: 10.1038/sj.bdj.2013.324.

Melo MCC, Guiomar de Azevedo Bahia M, Lopes Buono VT. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 2002 Nov;28(11):765-9. doi: 10.1097/00004770-200211000-00005.

Miyai K, Ebihara A, Hayashi Y, Doi H, Suda H, Yoneyama T. Influence of phase transformation on the torsional and bending properties of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Int Endod J.* 2006 Feb;39(2):119-26. doi: 10.1111/j.1365-2591.2006.01055.x.

Mize SB, Clement DJ, Pruett JP, Carnes DL Jr. Effect of sterilization on cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1998 Dec;24(12):843-7. doi: 10.1016/S0099-2399(98)80015-0.

Nabavizadeh MR, Sedigh-Shams M, Abdolrasoulia S. Cyclic fatigue life of two single file engine-driven systems in simulated curved canals. *Iran Endod J.* 2018 Winter;13(1):61-5. doi: 10.22037/iej.v13i1.18037.

Olçay K, Eyuboglu TF, Erkan E. Cyclic fatigue resistance of waveone gold, protaper next and 2shape nickel titanium rotary instruments using a reliable method for measuring temperature. *Niger J Clin Pract.* 2019 Oct;22(10):1335-40. doi: 10.4103/njcp.njcp\_655\_18.

Otsuka K, Wayman CM. Shape memory materials. Cambridge: University Press; 1998.

Özyürek T. Cyclic fatigue resistance of reciproc, waveone, and waveone gold nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2016 Oct;42(10):1536-9. doi: 10.1016/j.joen.2016.06.019.

Özyürek T, Keskin NB, Furuncuoğlu F, İnan U. Comparison of cyclic fatigue life of nickel-titanium files: an examination using high-speed camera. *Restor Dent Endod.* 2017 Aug;42(3):224-31. doi: 10.5395/rde.2017.42.3.224.

Özyürek T, Gündoğar M, Uslu G, Yılmaz K, Staffoli S, Nm G, Plotino G, Polimeni A. Cyclic fatigue resistances of Hyflex EDM, WaveOne gold, Reciproc blue and 2shape NiTi rotary files in different artificial canals. *Odontology.* 2018 Oct;106(4):408-13. doi: 10.1007/s10266-018-0340-y.

Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hróbjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P, Moher D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021 Mar 29;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod*. 2004 Oct;30(10):722-5. doi: 10.1097/01.don.0000129963.42882.c9.

Patiño PV, Biedma BM, Liébana CR, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod*. 2005 Feb;31(2):114-6. doi: 10.1097/01.don.0000136209.28647.13.

Pedullà E, Grande NM, Plotino G, Palermo F, Gambarini G, Rapisarda E. Cyclic fatigue resistance of two reciprocating nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. *Int Endod J*. 2013a Feb;46(2):155-9. doi: 10.1111/j.1365-2591.2012.02100.x.

Pedullà E, Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Rapisarda E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2013b Feb;39(2):258-61. doi: 10.1016/j.joen.2012.10.025.

Pedullà E, Franciosi G, Ounsi HF, Tricarico M, Rapisarda E, Grandini S. Cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments after immersion in irrigant solutions with or without surfactants. *J Endod*. 2014 Aug;40(8):1245-9. doi: 10.1016/j.joen.2014.02.005.

Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, Rapisarda E. Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. *J Endod*. 2016 Jan;42(1):156-9. doi: 10.1016/j.joen.2015.10.004.

Pedullà E, La Rosa GRM, Boninelli S, Rinaldi OG, Rapisarda E, Kim HC. Influence of Different Angles of File Access on Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc and Reciproc Blue Instruments. *J Endod*. 2018 Dec;44(12):1849-55. doi: 10.1016/j.joen.2018.08.012.

Pedullà E, Ambu E, Rovai F, Chang SW, Campedelli F, Corsentino G, Rapisarda S, La Rosa GRM, Grandini S. Influence of proper or reciprocating optimum torque reverse kinematics on cyclic fatigue of four single files. *J Investig Clin Dent*. 2019 Aug;10(3):e12409. doi: 10.1111/jicd.12409.

Pereira ESJ, Amaral CCF, Gomes JACP, Peters OA, Buono VTL, Bahia MGA. Influence of clinical use on physical-structural surface properties and electrochemical potential of NiTi endodontic instruments. *Int Endod J*. 2018 May;51(5):515-21. doi: 10.1111/iej.12768.

Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*. 2004 Aug;30(8):559-67. doi: 10.1097/01.don.0000129039.59003.9d.

Pinheiro SR, Alcalde MP, Vivacqua-Gomes N, Bramante CM, Vivan RR, Duarte MAH, Vasconcelos BC. Evaluation of apical transportation and centring ability of five thermally treated NiTi rotary systems. *Int Endod J*. 2018 Jun;51(6):705-13. doi: 10.1111/iej.12881.

Pirani C, Cirulli PP, Chersoni S, Micele L, Ruggeri O, Prati C. Cyclic fatigue testing and metallographic analysis of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2011 Jul;37(7):1013-6. doi: 10.1016/j.joen.2011.04.009.

Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, Lusvarghi L, Gandolfi MG, Prati C. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *Int Endod J*. 2016 May;49(5):483-93. doi: 10.1111/iej.12470.

Plotino G, Grande NM, Falanga A, Di Giuseppe IL, Lamorgese V, Somma F. Dentine removal in the coronal portion of root canals following two preparation techniques. *Int Endod J*. 2007 Nov;40(11):852-8. doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01284.x.

Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of NiTi rotary instruments in a simulated apical abrupt curvature. *Int Endod J*. 2010 Mar;43(3):226-30. doi: 10.1111/j.1365-2591.2009.01668.x.

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.

Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G, Castagnola R, Rossetti A, Özyürek T, Cordaro M, Fortunato L. Cyclic Fatigue of Reciproc and Reciproc Blue Nickel-titanium Reciprocating Files at Different Environmental Temperatures. *J Endod.* 2018 Oct;44(10):1549-52. doi: 10.1016/j.joen.2018.06.006.

Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997 Feb;23(2):77-85. doi: 10.1016/S0099-2399(97)80250-6.

Ray JJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. Cyclic fatigue of EndoSequence and K3 rotary files in a dynamic model. *J Endod.* 2007 Dec;33(12):1469-72. doi: 10.1016/j.joen.2007.07.041.

Rubio J, Zarzosa JI, Pallarés A. A Comparative Study of Cyclic Fatigue of 10 Different Types of Endodontic Instruments: an in Vitro Study. *Acta Stomatol Croat.* 2019 Mar;53(1):28-36. doi: 10.15644/asc53/1/3.

Ruddle CJ. The ProTaper technique: endodontics made easier. *Dent Today.* 2001 Nov;20(11):58-64, 66-8.

Schäfer E, Florek H. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2003 Mar;36(3):199-207. doi: 10.1046/j.1365-2591.2003.00643.x.

Shen Y, Coil JM, Zhou H, Zheng Y, Haapasalo M. HyFlex nickel-titanium rotary instruments after clinical use: metallurgical properties. *Int Endod J.* 2013 Aug;46(8):720-9. doi: 10.1111/iej.12049.

Shen Y, Hieawy A, Huang X, Wang ZJ, Maezono H, Haapasalo M. Fatigue resistance of a 3-dimensional conforming nickel-titanium rotary instrument in double curvatures. *J Endod.* 2016 Jun;42(6):961-4. doi: 10.1016/j.joen.2016.02.012.

Silva EJ, Rodrigues C, Vieira VT, Belladonna FG, De-Deus G, Lopes HP. Bending resistance and cyclic fatigue of a new heat-treated reciprocating instrument. *Scanning.* 2016 Nov;38(6):837-41. doi: 10.1002/sca.21333.

Silva EJNL, Vieira VTL, Gabina TTG, Antunes HDS, Lopes HP, De-Deus G. The impact of using a pneumatic contra-angle device on the lifespan of M-Wire- and Blue-treated instruments. *Clin Oral Investig.* 2019 Feb;23(2):617-21. doi: 10.1007/s00784-018-2480-4.

Sobotkiewicz T, Huang X, Haapasalo M, Mobuchon C, Hieawy A, Hu J, Zhou H, Wang Z, Shen Y. Effect of canal curvature location on the cyclic fatigue resistance of reciprocating files. *Clin Oral Investig*. 2021 Jan;25(1):169-77. doi: 10.1007/s00784-020-03348-8.

Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, Vincenzi V, Giansiracusa A, Grande NM, Gambarini G. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. *J Endod*. 2011 Sep;37(9):1293-5. doi: 10.1016/j.joen.2011.05.023.

Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J*. 2000 Jul;33(4):297-310. doi: 10.1046/j.1365-2591.2000.00339.x.

Thu M, Ebihara A, Maki K, Miki N, Okiji T. Cyclic fatigue resistance of rotary and reciprocating nickel-titanium instruments subjected to static and dynamic tests. *J Endod*. 2020 Aug 17:S0099-2399(20)30603-8. doi: 10.1016/j.joen.2020.08.006.

Topçuoğlu HS, Demirbuga S, Düzgün S, Topçuoğlu G. Cyclic fatigue resistance of new reciprocating files (Reciproc Blue, WaveOne Gold, and SmartTrack) in two different curved canals. *J Investig Clin Dent*. 2018 Aug;9(3):e12344. doi: 10.1111/jicd.12344.

Torabinejad M. Endodontic mishaps: etiology, prevention, and management. *Alpha Omegan*. 1990;83(4):42-8.

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 Oct;102(4):e106-14. doi: 10.1016/j.tripleo.2005.12.012.

Ullmann CJ, Peters OA. Effect of cyclic fatigue on static fracture loads in ProTaper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2005 Mar;31(3):183-6. doi: 10.1097/01.don.0000137641.87125.8f.

Varghese NO, Pillai R, Sujathen UN, Sainudeen S, Antony A, Paul S. Resistance to torsional failure and cyclic fatigue resistance of ProTaper Next, WaveOne, and Mtwo files in continuous and reciprocating motion: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2016 May-Jun;19(3):225-30. doi: 10.4103/0972-0707.181937.

Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA. Evidence for Reduced Fatigue Resistance of Contemporary Rotary Instruments Exposed to Body Temperature. *J Endod*. 2016 May;42(5):782-7. doi: 10.1016/j.joen.2016.01.025.

Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J*. 2005 Sep;38(9):610-6. doi: 10.1111/j.1365-2591.2005.00989.x.

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. doi: 10.1016/s0099-2399(88)80196-1.

Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod*. 1975 Aug;1(8):255-62. doi: 10.1016/S0099-2399(75)80037-9.

Wolcott S, Wolcott J, Ishley D, Kennedy W, Johnson S, Minnich S, Meyers J. Separation incidence of protaper rotary instruments: a large cohort clinical evaluation. *J Endod*. 2006 Dec;32(12):1139-41. doi: 10.1016/j.joen.2006.05.015.

Yao JH, Schwartz SA, Beeson TJ. Cyclic fatigue of three types of rotary nickel-titanium files in a dynamic model. *J Endod*. 2006 Jan;32(1):55-7. doi: 10.1016/j.joen.2005.10.013.

Yılmaz K, Özyürek T. Cyclic fatigue life of Tango-Endo, WaveOne GOLD, and Reciproc NiTi instruments. *Restor Dent Endod*. 2017 May;42(2):134-9. doi: 10.5395/rde.2017.42.2.134.

Yılmaz K, Özyürek T, Uslu G. Comparison of cyclic fatigue resistance of one curve, hyflex edm, waveone gold and reciproc blue nickel-titanium rotary files at intra-canal temperature. *Cumhuriyet Dent J*. 2019 Mar;22(1):42-47. doi: 10.7126/cumudj.477218.

Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Cyclic fatigue of Profile rotary instruments after simulated clinical use. *Int Endod J*. 1999 Mar;32(2):115-9. doi: 10.1046/j.1365-2591.1999.00201.x.

Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Cyclic fatigue of ProFile rotary instruments after clinical use. *Int Endod J.* 2000 May;33(3):204-7. doi: 10.1046/j.1365-2591.1999.00296.x.

Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J.* 2008 Apr;41(4):339-44. doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01351.x. verifique a data no texto, creio que está 2007