

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

ANTONIO ÍTALO OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA À FADIGA CÍCLICA DOS INSTRUMENTOS DO SISTEMA X1 E
WAVEONE**

São Luís

2021

ANTONIO ÍTALO OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA À FADIGA CÍCLICA DOS INSTRUMENTOS DO SISTEMA X1 E
WAVEONE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Odontologia Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Mendonça Leal

São Luís

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro Universitário – UNDB / Biblioteca

Oliveira, Antonio Ítalo

Resistência à fadiga cíclica dos instrumentos do sistema X1 e WaveOne / Antonio Ítalo Oliveira. __ São Luís, 2021.
53 f.

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Mendonça Leal.

Monografia (Graduação em Odontologia) - Curso de Odontologia
–Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco –
UNDB, 2021.

1. Fratura. 2. Fadiga cíclica. 3. Instrumentos. 4. Sistema X1.
5. Sistema WaveOne. I. Título.

CDU 616.314-001.5

ANTONIO ÍTALO OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA À FADIGA CÍCLICA DOS INSTRUMENTOS DO SISTEMA X1 E
WAVEONE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Odontologia Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Odontologia.

Aprovado em: 30/11/2021

Prof. Dr. Alex Sandro Mendonça Leal
Orientador

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB

Prof^a. Dr^a. Érica Martins Valois
1º Examinador

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB

Prof^a. M^a. Karinne Travassos Pinto Carvalho
2º Examinador

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB

À Deus, pela dádiva da vida e por sempre estar comigo em todos os momentos, por me dar forças durante essa jornada para nunca fraquejar.

À minha querida vizinha Maria Oliveira de Araújo (*in memoriam*) que infelizmente não pôde vivenciar esse momento, mas continua sendo o meu maior exemplo de amor, cuidado e bondade. Sua doce lembrança ficará guardada para sempre em meu coração me inspirando a fazer sempre o bem.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Márcia Inez Araújo de Oliveira por todos os ensinamentos, amor e dedicação, por estar sempre presente em todas as etapas da minha vida. Obrigado por não medir esforços para a concretização de mais um sonho, sem você nada seria possível.

À minha esposa Juliana Gonçalves Oliveira, por todo amor, compressão e incentivo. Obrigado por acreditar em mim e me acompanhar durante esse longo percurso.

Aos familiares que nunca duvidaram da minha capacidade e vontade de querer aprender mais, obrigado pelas palavras de incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alex Sandro Mendonça Leal, por todo conhecimento compartilhado, e pelas valiosas e incontáveis horas dedicadas a este trabalho.

À minha dupla Cíntia Matos, por toda paciência, amizade e parceria que teve comigo durante nossos atendimentos.

Às amigas que a faculdade me deu, Ana Beatriz, Ana Karolina, Beatriz, Claudiane, Samara e Vânia, pela ajuda, convívio e todos os grandes momentos vividos.

RESUMO

A fratura por fadiga cíclica ocorre quando um instrumento é submetido a consecutivas cargas de compressão e tensão no mesmo ponto, na região da curvatura, ocorrendo tensão na porção externa do instrumento e compressão na porção interna ao mesmo tempo. O objetivo deste estudo foi comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos do sistema X₁[®] Blue (Porto Alegre, RS, Brasil) e WaveOne[®] Gold (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) em canais curvos artificiais confeccionados em acrílico, através do teste de resistência a fadiga cíclica. O estudo foi caracterizado como sendo experimental e descritivo, utilizando-se o método de abordagem quantitativa e realizado no laboratório pré-clínico de Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB). Um total de 20 instrumentos de níquel-titânio (NiTi) com Memória de Forma Controlada MFC) foram utilizados, no movimento recíprocante, sendo 10 instrumentos WaveOne[®] Gold primary (20.07) (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) e 10 instrumentos do sistema X₁[®] (20.06) (Porto Alegre, RS, Brasil). Os resultados demonstraram que os instrumentos do sistema WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) apresentaram melhor resistência à fadiga cíclica quando comparados aos instrumentos do sistema X₁[®](Porto Alegre, RS, Brasil).

Palavras-chaves: Instrumentos. Fratura. Fadiga Cíclica.

ABSTRACT

Cyclic fatigue fracture occurs when an instrument is subjected to consecutive compression and tension loads at the same point, in the curvature region, with the metal undergoing tension in the outer portion and compression in the inner portion at the same time. This study aims to compare the cyclic fatigue resistance of instruments of the X₁[®] Blue (Porto Alegre, RS, Brazil) and WaveOne[®] Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) system in artificial curved channels made of acrylic, through the cyclic fatigue resistance test. The study was characterized as being experimental and descriptive, using the method of quantitative approach. The research was carried out in the pre-clinical dentistry laboratory of the University Center Dom Bosco Higher Education Unit. To carry out the experiment, a total of 20 nickel-titanium files were used, being 10 instruments from WaveOne[®] Gold primary (20.07) (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) and 10 instruments from the X₁[®] system (20.06) (Porto Alegre, RS, Brazil). The results showed that the instruments of the WaveOne[®] system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) presented better resistance to cyclic fatigue when compared to the instruments of the X₁[®] system (Porto Alegre, RS, Brazil).

Keywords: Instruments. Fracture. Cyclic fatigue.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Teste e tempo	28
Tabela 2	Tempo de resistência (em segundos) entre os instrumentos pesquisados.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Distribuição de tempo de resistência.....	29
Gráfico 2	Comparação do tempo de resistência entre os instrumentos.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	WaveOne® (20.07)	22
Figura 2	X1® (20.06)	22
Figura 3	Motor VDW Silver® modo WaveOne	23
Figura 4	Motor VDW Silver® modo RECIPROC ALL.....	24
Figura 5	Motor VDW Silver® modo CALIBRATION	24
Figura 6	Dispositivo de metal	25
Figura 7	Resina de poliéster transparente.....	25
Figura 8	Posição precisa e reproduzível da curvatura	26
Figura 9	Visão superior do canal.....	26

LISTA DE SIGLAS

- EUA - Estados Unidos da América
- EMF - Efeito de Memória de Forma
- MFC - Memória de forma controlada
- NITI - Níquel-Titânio
- SCR - Sistema de canais radiculares
- SE - *Superelasticity* (Superelasticidade)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Instrumentos endodônticos.....	14
2.2	Fratura por fadiga cíclica.....	16
2.3	Sistema WaveOne®.....	18
2.4	Sistema X1®	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	Tipo de Pesquisa.....	22
3.2	Local do Estudo.....	22
3.3	Instrumentos utilizados no ensaio.....	22
3.4	Coleta de dados.....	23
3.5	Análise de dados.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1	Descrição dos resultados.....	28
4.2	Discussão	30
5	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS	35
	APÊNDICE	40

1 INTRODUÇÃO

O sucesso de um tratamento endodôntico não cirúrgico está profundamente associado com a manutenção da forma original do canal radicular e com a redução de iatrogenias. O surgimento de instrumentos de Níquel-Titânio (NiTi) passou a ser uma ferramenta indispensável na instrumentação de canais radiculares, principalmente devido à alta flexibilidade, eficiência de corte e preparos bem centralizados, mantendo a anatomia original do canal radicular, com menor frequência de acidentes como perfurações, desvios e degraus (GRAÇA; PAIVA, 2020).

Entretanto, a complexa anatomia do sistema de canais radiculares (SCR) pode ocasionar a fratura dos instrumentos, especialmente em atresias e curvaturas, o que pode afetar o sucesso do tratamento endodôntico (TSUJIMOTO *et al.*, 2014; PRUETT *et al.*, 1997).

A causa da fratura de instrumentos ocorre principalmente devido à torção e fadiga cíclica, onde está ocorrendo principalmente em canais curvos através do giro de um instrumento que induz a formação de tensões compressivas alternada que se acumulam após um determinado período (COLOMBO *et al.*, 2016; TSUJIMOTO *et al.*, 2014; PRUETT *et al.*, 1997).

O movimento recíprocante reduziu a fadiga cíclica e torcional dos instrumentos endodônticos, e somado a isso as ligas submetidas ao tratamento termomecânico de superfície, como a liga M-wire, proporcionaram considerável melhora das propriedades mecânicas, em relação à liga de NiTi convencional (COLOMBO *et al.*, 2016).

Em 2011, foi lançado o sistema Reciproc (VDW, Munique, Alemanha), apresentando liga de NiTi M-Wire e com a ideia de instrumentação com lima única. A cinemática desse sistema oscila em uma angulação de 150° no sentido anti-horário e 30° no sentido horário (MACHADO *et al.*, 2012). Desde então, vários sistemas recíprocantes foram lançados, com diferentes ligas e características próprias dos seus instrumentos.

O sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça), com grande destaque no mercado, também possui instrumento único, seção transversal triangular convexa e liga de NiTi com tratamento térmico de superfície M-wire (COLOMBO *et al.*, 2016).

Entretanto, para melhorar ainda mais as propriedades mecânicas, esse sistema apresentou melhorias no seu tratamento termomecânico de superfície, possibilitando uma cor dourada patenteada dos seus instrumentos, surgindo assim o sistema WaveOne® Gold (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça), com memória de forma controlada (MFC) (COLOMBO *et al.*, 2016).

Outro sistema reciprocante lançado, o X₁® (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil), confeccionado com liga de NiTi tratada termicamente, possibilitou maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica, onde o tratamento de superfície precipita uma camada de óxido de titânio na superfície proporcionando a cor azul característica aos seus instrumentos, conferindo a esse sistema a propriedade de MFC (MATTOS *et al.*, 2020).

Considerando a grande oferta de sistemas para a instrumentação SCR, ressalta-se importância do desempenho mecânico dos instrumentos, principalmente em casos de complexidade anatômica, como os canais atrésicos e curvos.

A resistência à fadiga cíclica está relacionada a múltiplos fatores, como o diâmetro do instrumento e composição da liga metálica e representa o número de ciclos que um instrumento consegue resistir sob uma condição de carga específica antes de fraturar (FERREIRA *et al.*, 2017).

O sucesso do tratamento endodôntico depende de vários fatores, e a etapa do reparo do canal radicular assume extremamente relevância. Nesse sentido, os sistemas X₁® (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) e WaveOne® (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) surgem como alternativa para formatação dos canais radiculares, porém apesar do movimento reciprocante reduzir, não elimina o risco fratura do instrumento endodôntico.

Portanto, este estudo busca investigar a influência de ligas de NiTi de memória de forma controlada na resistência à fratura cíclica dos sistemas reciprocantes X₁® (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) e WaveOne® Gold (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça), através do teste de resistência à fadiga cíclica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Instrumentos endodônticos

Para Silva *et al.* (2015), o desenvolvimento da instrumentação mecanizada pode ter sido a maior evolução na área da endodontia, pois possibilitou preparos mais centrados com grande percentual de desinfecção, proporcionando maior comodidade e um menor tempo de execução quando comparado às técnicas convencionais.

Lopes *et al.* (2014) ressaltam que devido às características anatômicas dos canais radiculares como curvaturas moderadas e acentuadas, mineralizações fisiológicas ou patológicas e diâmetro variável, a instrumentação convencional pode ocasionar intercorrências indesejáveis, como desvio de trajeto original, formação de degrau ou reentrância, zip, tamponamento apical por restos teciduais, além da eventual fratura do instrumento no interior do canal radicular.

O sistema mecanizado facilita a instrumentação de canais curvos, pois possui 2 a 3 vezes mais flexibilidade em comparação a instrumentação manual. Os instrumentos mecanizados apresentam menor módulo de elasticidade, além de uma maior resistência a fratura e flexibilidade (SILVA *et al.*, 2015).

Os instrumentos de NiTi representam um progresso significativo na preparação do sistema de canais radiculares, normalmente produzindo preparos rápidos, com conicidade e centralizados, com menores índices de deformações. A introdução desta liga foi idealizada por Buehler em 1963, um pesquisador do programa espacial do laboratório de artilharia naval em Silver Springs (Maryland, EUA), foi responsável por promover um grande avanço no campo da instrumentação (PEDULLÀ *et al.*, 2020).

Essa liga foi denominada NiTiNol em decorrência dos elementos que o material é composto, ou seja, Ni de Níquel (56%), Ti de Titânio (44%) e Nol (*Naval Ordnance Laboratory*), local do desenvolvimento da liga NiTi. A liga de NiTi foi desenvolvida pelo Laboratório *Naval Ordnance* (White Oak, MD, EUA), que batizou a liga como “nitinol”, referência as iniciais das palavras em inglês: nickel (ni), titanium (ti) e *Naval Ordnance Laboratory* (nol). A estrutura é considerada equiatômica, pois contém 56% de níquel e 44% de titânio (PEDULLÀ *et al.*, 2020).

A liga de NiTi dos instrumentos utilizados no sistema mecanizado foi escolhida por apresentar propriedades de biocompatibilidade, superelasticidade (SE) e efeito

memória de forma (EMF), proporcionando boa resistência ao impacto e à fratura, diminuindo os casos de insucessos com este tipo de material (LOPES *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2020).

De uma forma geral, as ligas NiTi utilizadas nos instrumentos endodônticos podem ser divididas em dois tipos: contendo principalmente a fase austenita (NiTi convencional, M-Wire, Fase-R) e aquelas com a fase martensita (tratamento termomecânico Gold e Blue) (ZUPANC *et al.*, 2018).

Nos últimos dez anos, o surgimento de tratamentos termomecânicos, além de outros procedimentos como fabricação por torção, usinagem por descarga elétrica e polimento final de superfície propiciaram maior flexibilidade, resistência à fadiga e maior ângulo de torção aos instrumentos endodônticos.

Por conta disso, houve uma melhora acentuada nas suas propriedades mecânicas (LOPES *et al.*, 2010; ZUPANC *et al.*, 2018) e para que essas características fiquem evidentes, tanto o efeito de memória de forma como a SE necessitam de uma alteração de fase no estado sólido, chamada transformação martensítica, onde obrigatoriamente haverá indução de tensão ou redução da temperatura (THOMPSON, 2001).

A transformação martensítica ocorre entre duas fases cristalinas, uma estável em altas temperaturas, baixos valores de tensão e de alta simetria, com uma estrutura de cristal B2 cúbica chamada austenita (fase parente), e a outra fase, chamada martensita, que possui baixa simetria e temperatura, com estrutura cristalina monocíclica B19' (SHEN *et al.*, 2013). Esta característica de comportamento viabilizou o acionamento elétrico dos instrumentos de NiTi (BAHIA; BUONO, 2005; YANG *et al.*, 2007).

Instrumentos endodônticos feitos de ligas austeníticas possuem propriedades superelásticas devido à transformação por martensita induzida por tensão e assim, tendem a retornar à sua forma original após a deformação, quando comparado ao NiTi convencional. Em contraste, os instrumentos martensíticos podem ser facilmente deformados, devido à reorientação das variantes de martensita e mostram um EMF quando aquecidos. O uso da liga martensítica resulta em instrumentos mais flexíveis, com uma resistência à fadiga aumentada em relação à liga austenítica (ZUPANC *et al.*, 2018).

Em 2011, o Vortex Blue (*Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, EUA*) foi lançado no mercado com o primeiro instrumento com tratamento térmico especial, que apresentava uma cor azulada em sua superfície (PLOTINO *et al.*, 2014).

Atualmente, outros sistemas Gold e Blue apresentam esse tipo de tratamento superficial e podem ser utilizados tanto no movimento contínuo à direita, como o Profile Vortex Blue (*Dentsply Tulsa Dental, Johnson City, TN, EUA*) e o PTG, assim como, o Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha) e o WaveOne® Gold (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*), no movimento recíprocante. Estes instrumentos também exibem MFC e podem sofrer deformação (PLOTINO *et al.*, 2014).

A usinagem dos instrumentos antes de receberem o processo termomecânico de fabricação patenteado é a principal diferença entre a liga com MFC e as ligas Gold e Blue (PEREIRA *et al.*, 2015). Sabe-se que uma camada visível de óxido de titânio é a responsável pela cor azul ou dourada, que permanece na superfície como resultado do tratamento térmico (HU *et al.*, 2014; ZUPANC *et al.*, 2018).

Os instrumentos Blue exibem menor dureza superficial vickers do que os com liga M-Wire (GAO *et al.*, 2012, DE-DEUS *et al.*, 2017), e considerando o seu comportamento de MFC, pode-se supor que apesar da menor temperatura de transformação, esses instrumentos contêm uma quantidade maior de martensita estável do que a liga M-Wire, o que os torna mais maleáveis e dúcteis (ZUPANC *et al.*, 2018).

Todos os instrumentos Gold e Blue demonstraram maior flexibilidade e resistência à fadiga em comparação aos de NiTi convencional e M-Wire, o que pode ser atribuído ao seu estado martensítico (GAO *et al.*, 2012; NGUYEN *et al.*, 2014; PLOTINO *et al.*, 2014; DUKE *et al.*, 2015; HIEAWY *et al.*, 2015; ELNAGHY, ELSAKA, 2016; KAVVAL *et al.*, 2016; OZYÜREK, 2016; UYGUN *et al.*, 2016; ADIGÜZEL, CAPAR, 2017; DE-DEUS *et al.*, 2017; PLOTINO *et al.*, 2017; TOPÇUOĞLU, TOPÇUOĞLU 2017; KESKIN *et al.*, 2018).

2.2 Fratura por fadiga cíclica

O emprego da técnica mecanizada tornou-se viável com a introdução da liga de NiTi e atualmente apresenta um número menor de instrumentos para a modelagem de canais radiculares, menor risco de iatrogenias, maior flexibilidade, elasticidade e resistência superiores à fratura, simplificando a etapa de preparo do canal radicular.

Possibilita também excelente corte da dentina com conicidade variável para permitir melhor limpeza, obturação e maior desgaste apical (SILVA *et al.*, 2015).

A instrumentação mecanizada mantém a forma original do canal radicular, entretanto, os instrumentos empregados nesta técnica podem sofrer fadiga cíclica durante o tratamento (MACHADO *et al.*, 2012), que ocorre quando um instrumento é submetido a consecutivas cargas de compressão e tensão no mesmo ponto, na região da curvatura, com o metal sofrendo tensão na porção externa e compressão na porção interna ao mesmo tempo (DIAS *et al.*, 2017).

Quanto maior a curvatura do canal radicular e maior a velocidade de rotação do instrumento, mais rápida será a fratura (COELHO *et al.*, 2018).

Outra condição que favorece a fratura é a própria condição de uso do instrumento. Durante o emprego acontece um estado de tração e de compressão que depende da anatomia do canal e da técnica do operador. A ciclagem mecânica modifica microestrutura do material acrescentando defeitos e modificando o encruamento. Por conseguinte, as propriedades mecânicas como a resistência à tração, compressão, torção, microdureza e flexão são alteradas (DIAS *et al.*, 2017).

Poy, Solda e Vanni (2018) verificaram que 5,2% dos molares tratados apresentaram fratura de instrumento de NiTi, destes, 1,2% pertencem a molares superiores e 4,0% a molares inferiores. Em relação ao canal radicular mais envolvido, o méso-vestibular dos molares superiores com 83,33% e o méso-lingual em 70% dos molares inferiores foram os mais envolvidos e em ambos os casos, a maioria das fraturas ocorreu no terço apical.

Tavares *et al.* (2015) realizaram um estudo retrospectivo analisando a taxa de fratura de limas manuais de aço inoxidável e rotatórias de NiTi, realizados por alunos de especialização em Endodontia, correlacionando a fratura dos instrumentais à fase de instrumentação. Os resultados demonstraram que dos 501 casos analisados, em 18 ocorreram fratura, sendo que 10 (55,55%) foram instrumentos manuais e 8 (44,44%) foram rotatórias de NiTi. Os instrumentos rotatórios de NiTi apresentaram maior índice de fratura quando comparados aos instrumentais manuais de aço inoxidável na fase de modelagem do canal radicular.

Instrumentos endodônticos acionados a motor que utilizam o movimento rotatório estão associados com maior risco de fratura (PELTON *et al.*, 2013; ELNAGHY, ELSAKA, 2016), mesmo sem apresentar qualquer tipo de deformação plástica (PRUETT *et al.*, 1997).

O comportamento mecânico de um instrumento endodôntico de NiTi mecanizado pode ser avaliado por meio de ensaios mecânicos, sob condições laboratoriais controladas, principalmente no estudo da fratura por flexão rotativa (PRUETT *et al.*, 1997; LOPES *et al.*, 2007, 2009, 2015). Assim, poderá haver extrapolação dos resultados para o emprego clínico, enfatizando sempre as limitações do ensaio mecânico em questão.

O comportamento mecânico de um instrumento endodôntico de NiTi mecanizado pode ser avaliado por meio de ensaios mecânicos, sob condições laboratoriais controladas, principalmente no estudo da fratura por flexão rotativa (PRUETT *et al.*, 1997; LOPES *et al.*, 2007, 2009, 2015). Assim, poderá haver extrapolação dos resultados para o emprego clínico, enfatizando sempre as limitações do ensaio mecânico em questão.

A fadiga é considerada a maior causa de falha dos metais e a iniciação e propagação de trincas dar-se-á no início do processo. Normalmente a sua superfície é perpendicular em relação à direção da tensão de tração, podendo ser considerada de alto ou baixo ciclo, onde esta última ocorre abaixo de 10^4 ciclos. Este tipo de fadiga está geralmente associado a cargas mais elevadas e produz além de deformações elásticas, alguma deformação plástica durante cada ciclo, o que reduz a vida em fadiga (LOPES *et al.*, 2014).

A vida em fadiga refere-se ao número de ciclos que um instrumento é capaz de resistir sob uma carga específica. Como o número de ciclos é cumulativo até a fratura, pode-se calcular multiplicando a velocidade de rotação pelo tempo decorrido até a fratura (LOPES *et al.*, 2009).

2.3 Sistema WaveOne®

Atualmente, há uma tendência dos sistemas para a instrumentação do SCR apresentar instrumentos de uso único, com a proposta de redução de custo e tempo operatório, como o sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*).

Lançado em meados de 2010, este sistema possui liga de NiTi modificada por tratamento térmico chamada de M-wire, que possui maior resistência à fratura dos instrumentos quando empregado em canais atrésicos e curvos, quando comparado aos sistemas de NiTi convencionais. Segundo Webber *et al.* (2011), o sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) alcança os objetivos mecânicos e

biológicos na formatação do SCR e desta forma, possibilita uma desinfecção e obturação tridimensional bastante satisfatórias.

O sistema é constituído por três instrumentos: *Small* (anel amarelo), *Primary* (anel vermelho) e *Large* (anel preto), com as seguintes características: *Small* (0,21mm de diâmetro e conicidade 0,06 constante); *Primary* (0,25mm de diâmetro e conicidade 0,08 de D1 a D3, diminuindo gradativamente de D4 a D16); *Large* (0,40mm de diâmetro e conicidade 0,08 de D1 a D3, diminuindo gradativamente de D4 a D16) (GUIMARÃES JUNIOR., 2013).

Os instrumentos apresentam duas secções transversais distintas ao longo da parte ativa da lima: de D1 a D8 apresenta uma secção transversal triangular convexa alterada, enquanto de D9 a D16, a secção é triangular convexa sem modificação (GUIMARÃES JUNIOR., 2013). Segundo Ruddle (2012), há uma redução do tempo do preparo do canal radicular em até 40% quando se emprega este sistema.

De acordo com Carvalho (2015), outra característica importante desse sistema é o sentido de orientação do fio de corte, que gira em sentido anti-horário, além de possuir um passo (distância entre as cristas das espiras) distinto ao longo da parte ativa da lima e isto promove melhor flexibilidade e segurança ao instrumento.

O movimento no sentido anti-horário refere-se ao sentido de corte do instrumento (hélice invertida), e é sempre executado com um ângulo inferior ao limite elástico da lima. Assim, durante o trabalho, a lima avança no sentido apical sem sofrer fadiga, tornando o processo extremamente seguro e confiável (GUIMARÃES JUNIOR, 2013).

Os instrumentos que sofreram tratamento termomecânico na liga de NiTi, apresentam propriedades mecânicas superiores devido à maior flexibilidade. O sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*), com lima única, possibilita o preparo do canal radicular em um diâmetro adequado, mesmo em canais atrésicos e curvos (PLOTINO *et al.*, 2012).

Recentemente foi lançado uma nova versão do sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*), que apresenta um processo patenteado pelo fabricante, onde a superfície dos seus instrumentos apresenta tratamento termo-mecânico GOLD, ou seja, através de um aquecimento e resfriamento da liga de NiTi, origina uma camada na superfície de óxido de titânio, conferindo a cor dourada característica deste sistema. Por tanto, são instrumentos com MFC, maior quantidade de fase martensítica, maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica (KUBLISTKI *et al.*, 2021).

Uma diferença em relação ao sistema M Wire anterior é a aquisição de um instrumento Medium, de anel verde, conicidade 0.06 e diâmetro da ponta 0.35 milímetro. Vale lembrar também que ambos o sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) apresenta cones de guta-percha com o perfil do instrumento para a realização da obturação em cone único.

2.4 Sistema X1®

O sistema X1® é comercializado pela *MK Life* (Porto Alegre, RS, Brasil), desenvolvida a partir de uma liga de NiTi que passa por um tratamento térmico, o que lhes confere uma coloração azulada. Com este tratamento o instrumento se torna mais flexível e mais resistente à fadiga, por causa da precipitação de uma camada externa de óxido de titânio na superfície (CALEFI et al., 2020; LIMA, 2021).

O sistema X1® Blue (X1 BF - *MK Life* Porto Alegre, RS, Brasil) possui um sistema completo, com três instrumentos com diâmetro distintos: 0,20, 0,25 e 0,40 mm, sendo identificados pela cor amarela, vermelha e preta, com 25 mm de comprimento e conicidade 0,06% apresentando aresta cortante em formato de filete, ponta truncada e seção transversal convexa em forma de S, com duas arestas de corte, sendo fabricado com tratamento térmico semelhante ao da tecnologia Blue (CALEFI et al., 2020; LIMA, 2021).

Além de proporcionar, de acordo o fabricante maior flexibilidade, eficiência de corte e menor risco de fratura (LIMA, 2021). A seleção do instrumento é feita de acordo com o diâmetro e anatomia do SCR, ou seja, observando cuidadosamente a anatomia radicular. Convém lembrar que o sistema X1® (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil), apresenta cones de papel e de guta-percha próprios nos mesmos diâmetros dos instrumentos.

Esse sistema apresenta três instrumentos com conicidades diferentes, que são selecionados de acordo com as dimensões do canal a ser instrumentado (MATTOS et al., 2020), sendo também um sistema de instrumento único para a formatação de canais radiculares.

As limas do sistema X1® 20/06, 25/06 e 40/06 são usados em movimento recíprocante (programa Reciproc) e possuem seção transversal triangular, ponta inativa e conicidade 06. De acordo com o fabricante apresentam excelente poder de corte e resistência flexural, com tratamento térmico de superfície Blue, portanto, são

instrumentos com MFC. A lima 20/06 é ideal para o 4º canal, a 25/06 para a maioria dos casos; a 40/06 para o canal palatino de molares superiores, podendo ser utilizado como lima única ou em sequência de 3 instrumentos (POVEDA, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

O estudo foi caracterizado como sendo experimental e descritivo, utilizando-se o método de abordagem quantitativa.

3.2 Local do Estudo

A pesquisa foi realizada no laboratório pré-clínico de Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco.

3.3 Instrumentos utilizados no ensaio

Para a realização do experimento, foram utilizadas um total de 20 limas de NiTi, sendo 10 instrumentos WaveOne® Gold primary (20.07) (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) (Figura 1) e 10 instrumentos do sistema X₁® (20.06) (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*), (Figura 2), apresentando características morfogeométricas semelhantes, como o diâmetro da ponta e pelo fato de apresentarem tratamento da liga de NiTi com MFC, sendo assim, apresentam uma forma de padronização durante a comparação após a realização do ensaio.



Figura 1 - WaveOne® (20.07) (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*)

Fonte: www.dentalspeed.com/modelo/lima-wave-one-gold-small-25mm-dentsply-maillefer-10914



Figura 2 - X₁® (20.06) (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*)

Fonte: www.novaendovita.com/loja/limas/limas-reciproc-2/lima-x1-blue-no-20-06-25mm/

A pesquisa utilizou-se uma amostragem não probabilística por conveniência. Todos os instrumentos são comercializados em embalagem blister estéril pelos fabricantes. Portanto, os instrumentos não foram esterilizados previamente ao teste de fadiga cíclica.

Os instrumentos foram acionados no motor eletrônico VDW Silver® (VDW, Munique, Alemanha) na função Reciproc All e na função WaveOne All.

3.4 Coleta de dados

Os instrumentos foram acionados até que ocorresse sua fratura seguindo o tipo do movimento, torque e velocidade recomendadas pelo fabricante e disponível na programação do motor VDW Silver® (VDW®, Munique, Alemanha), sendo modo “WAVE ONE ALL” (Figura 3) para as limas WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*).

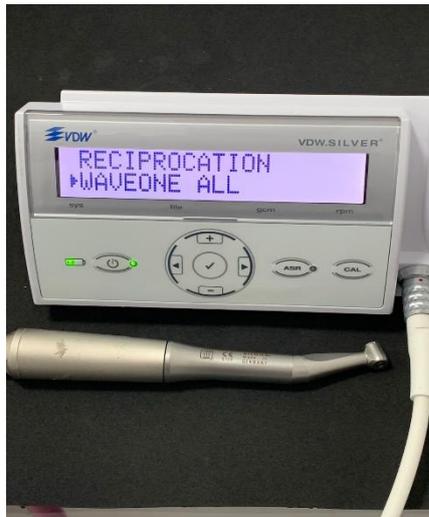


Figura 3 - Motor VDW Silver® modo WaveOne

Fonte: Autor da pesquisa (2021)

O modo “RECIPROC ALL” (Figura 4) foi utilizado para o acionamento das limas X₁® (Figura 2).

Para ambos os sistemas utilizados, antes da instrumentação foi realizado a calibração do motor (Figura 5).



Figura 4 - Motor VDW Silver® modo RECIPROC ALL

Fonte: Autor da pesquisa (2021)



Figura 5 - Motor VDW Silver® modo CALIBRATION

Fonte: Autor da pesquisa (2021)

O ensaio de fadiga cíclica foi realizado utilizando um dispositivo confeccionado em aço inoxidável e revestido de poliuretano vermelho para fixar o canal artificial em acrílico e garantir que a instrumentação fosse realizada na medida certa padronizada (Figura 6).

A instrumentação do canal foi realizada em um canal simulado de resina de poliéster transparente (Figura 7), que apresenta um ângulo de curvatura de 32°, raio de curvatura de 3 mm, saída do forame de 0,2 mm e comprimento total de 16 mm, permitindo que as limas girem livremente e o canal permaneça fixado pelo dispositivo durante os testes.



Figura 6 – Dispositivo de metal
Fonte: Autor da pesquisa (2021)



Figura 7 – Resina de poliéster transparente
Fonte: Autor da pesquisa (2021)

O dispositivo permitiu uma posição precisa e reproduzível da curvatura a ser estabelecida para todos os instrumentos, sendo que o comprimento de trabalho foi 15 mm, entretanto, a espessura da parte superior do aparato tinha uma espessura de 3mm e desta forma, o comprimento de trabalho totalizou 18 mm (Figura 8). Além disso, a base do dispositivo foi fixada na posição escolhida. Cumpre lembrar que o canal artificial foi aberto em sua parte superior para possibilitar a observação direta do momento da fratura (Figura 9).



Figura 8 – Posição precisa e reproduzível da curvatura
Fonte: Autor da pesquisa (2021)



Figura 9 – Visão superior do canal
Fonte: Autor da pesquisa (2021)

Todos os instrumentos foram acionados no movimento recíprocante até a ocorrência da fratura, momento este que foi registrado por um cronômetro digital e o tempo da fratura foi registrado em segundos, no qual foi detectada visual e audivelmente. Os instrumentos giraram livremente dentro do canal simulado. Todos os procedimentos foram realizados em temperatura ambiente de 37°C.

3.5 Análise de dados

As análises foram realizadas utilizando o software IBM SPSS 26. Para facilitar a análise, a variável tempo foi utilizada em segundos. O nível de significância foi estabelecido em 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição dos resultados

Foram realizados 10 testes com cada instrumento escolhido, no qual observa-se na tabela 1.

Tabela 1 – Teste e tempo

X₁[®] (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil)		WaveOne[®] (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)	
Nº de teste	Tempo (minutos)	Nº de teste	Tempo (minutos)
1	4:29	1	7:58
2	5:45	2	8:43
3	2:25	3	4:27
4	2:27	4	10:57
5	3:09	5	4:24
6	2:46	6	9:40
7	2:08	7	9:14
8	2:81	8	9:35
9	2:26	9	10:15
10	2:35	10	9:17

Fonte: Autor da pesquisa (2021).

Observa-se na tabela acima, que WaveOne[®] (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) apresentou maior tempo quando comparado com X₁[®] (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil), no qual verifica que existe uma diferença na maioria dos testes de 6 minutos entre eles, sendo que no quarto e no nono teste a diferença foi maior, de 8 minutos. Entretanto, verificou-se que dois testes houve diferença reduzida, ou seja, no primeiro teste, houve uma diferença de 3 minutos e no quinto teste, a diferença foi menor, de 1 minuto, mas sempre com os instrumentos do sistema WaveOne[®] (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com um maior tempo até a fratura.

A tabela 2 com as análises descritivas, com a média de tempo entre os grupos, na qual observa-se que X_1^{\circledR} (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) possui média de 184,10 segundos e *WaveOne*[®] (*Dentsply Maillefer*, *Ballaigues*, Suíça) de 507 segundos, demonstrando que o segundo instrumento apresenta um tempo maior de resistência à fratura quando comparada ao segundo grupo.

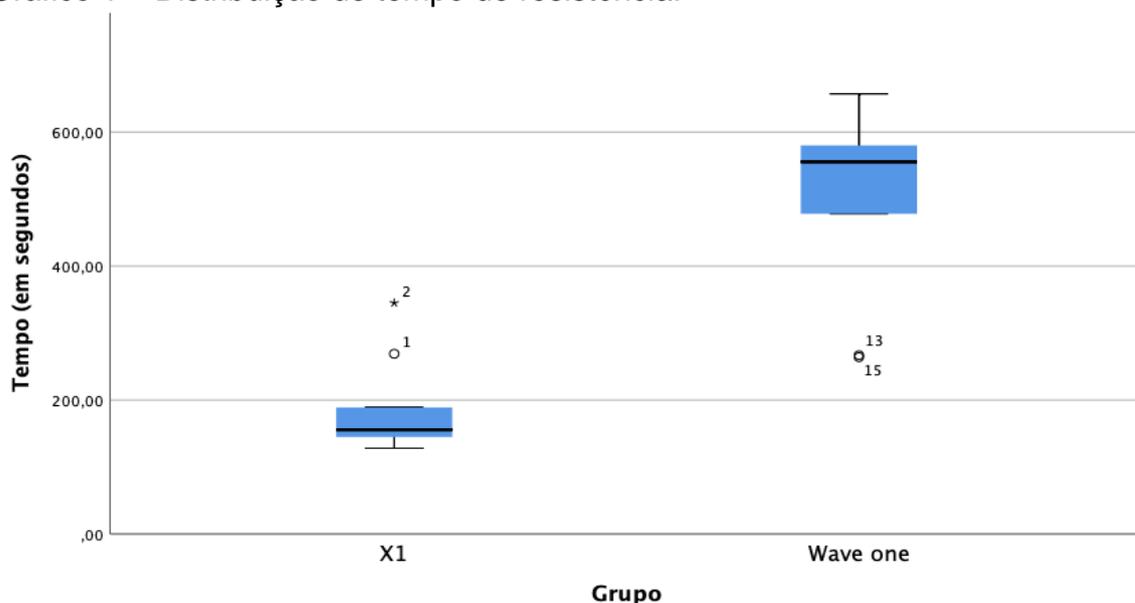
Tabela 2 – Tempo de resistência (em segundos) entre os instrumentos pesquisados

	Grupo	
	X_1^{\circledR} (<i>MK Life</i>, Porto Alegre, RS, Brasil)	<i>WaveOne</i>[®] (<i>Dentsply Maillefer</i>, <i>Ballaigues</i>, Suíça)
	Média	Média
Tempo (em segundos)	184,10	507,00

Fonte: Autor da pesquisa (2021).

Para melhor visualização o gráfico 1 demonstra as distribuições de tempo entre as variáveis entre os instrumentos analisados. Observa-se que as caixas não estão emparelhadas, mostrando os valores de *WaveOne*[®] (*Dentsply Maillefer*, *Ballaigues*, Suíça) superiores aos de X_1^{\circledR} (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil).

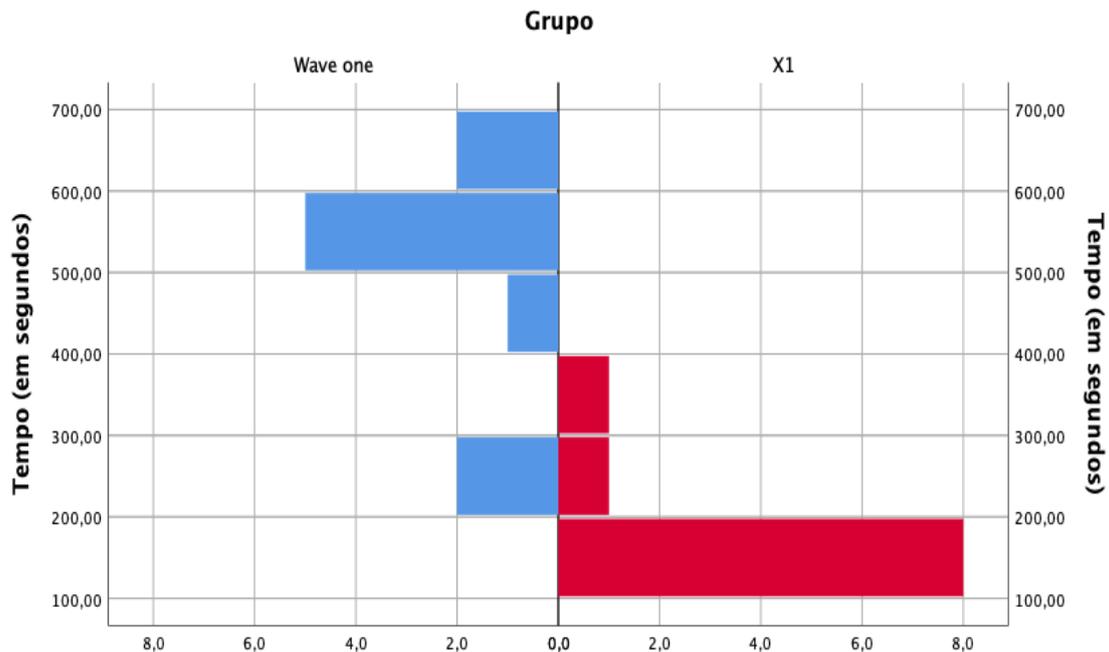
Gráfico 1 – Distribuição de tempo de resistência.



Fonte: Autor da pesquisa (2021).

No gráfico 2 observa-se também que conforme a distribuição dos tempos (em segundos), os valores de WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) superiores aos de X1® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*).

Gráfico 2 – Comparação do tempo de resistência entre os instrumentos.



Fonte: Autor da pesquisa (2021).

Verifica-se no gráfico 1, que existe uma concentração do tempo do X1® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*) entre 100 e 200 segundos, já o WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) encontra-se 500 a 700 segundos. Portanto, o WaveOne®.

4.2 Discussão

A fratura de limas é uma das principais preocupações ao longo de instrumentação do sistema de canais radiculares e como foi relatado anteriormente, existem múltiplos fatores responsáveis por esse acidente durante a utilização dos instrumentos endodônticos, contudo, a fadiga cíclica a principal causa de fraturas de instrumentos movidos a motor, sobretudo nos casos de canais com curvaturas severas (ELNAGHY, ELSAKA, 2016; HA *et al.*, 2015).

Para a realização do teste de fratura são usados ensaios estáticos e dinâmicos (CAPAR *et al.*, 2014; VADHANA *et al.*, 2014), sendo que o modelo dinâmico compreende um movimento axial cíclico no instrumento (movimento *pecking motion*), que relata com mais precisão o uso clínico. Verifica-se que a adição do movimento axial cíclico adia a vida útil dos instrumentos, conforme dados do estudo de Lopes *et al.* (2013).

Contudo, não existe uma velocidade recomendada para os movimentos de entrada e saída das limas, e a distância percorrida durante o movimento axial não é padronizada, portanto, estas são variáveis bastante subjetivas dependentes do operador e deste modo, difíceis de serem controladas experimentalmente (OLIVEIRA, 2015).

Por causa desses fatores, o estudo usou o movimento estático, com a finalidade de diminuir as chances de interferências no resultado da pesquisa, como aplicada em outros estudos (LOPES *et al.*, 2013; DE-DEUS *et al.*, 2014; DE-DEUS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

O tempo até a fratura foi método utilizado para avaliar a resistência à fadiga cíclica (CAPAR *et al.*, 2014; ELNAGHY *et al.*, 2014; CAPAR *et al.*, 2015). O tempo até a falha apresenta, clinicamente, mais informações relevantes, por ser muito mais fácil para o operador observar quando comparado com o número de ciclos para a fratura.

Nesse contexto, os resultados do estudo demonstraram que a marca WaveOne® apresentou maior resistência à fratura do que a marca X1® (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil).

Estudos ressaltam que o sistema WaveOne® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) por receber um tratamento térmico maior, produz melhor flexibilidade e resistência à fadiga do que outros instrumentos, visto que com alteração nas microestruturais, amplia-se as propriedades físicas e mecânicas dos instrumentos mecanizados (ENALGHY, ELSAKA, BARD, 2016; GAGLIARDI *et al.* 2015; HIEAWY *et al.* 2015).

Associado a essas alterações, no processo de fabricação, existe a implementação do movimento de alargamento recíprocante, que também promove uma ampliação da vida útil e maior resistência a fadiga cíclica, quando comparado movimento de rotação contínua (ALCALDE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

Dados concomitante com estudo de Heck (2021) que avaliaram 20 instrumentos de cada sistema foram selecionados (n=40) e divididos em dois grupos: TC, temperatura corporal ($37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) e TCR, temperatura corporal com resfriamento.

O tempo de fratura foi registrado. Os resultados demonstraram que o instrumento WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) teve significativamente maior resistência à fadiga em comparação com o instrumento X₁[®] (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*). Todavia o estudo verificou que ambos os instrumentos mostraram características típicas de comportamento de fadiga cíclica a luz da microscopia eletrônica de varredura (HECK, 2021).

Também semelhante ao estudo de Menezes (2019) que avaliaram e compararam a resistência em fadiga cíclica de sistemas reciprocantes de lima única. Os resultados demonstraram que WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) apresentou uma vida em fadiga cíclica maior do que a X₁[®] (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*) nos dois programas testados ($p < 0.05$).

O mesmo autor ressalta que os instrumentos WaveOne[®] possui uma conicidade de 0,07 mm/mm, enquanto, que o instrumento X₁[®] Blue (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*) tem uma conicidade de 30 0,06 mm/mm, isoladamente, a menor conicidade apresentada pelo sistema X₁[®] (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*) poderia lhe proporcionar uma maior resistência à fadiga.

Todavia, outras variáveis também estão vinculadas aos resultados, com relação à fadiga, como os defeitos de acabamento superficial encontrados nos instrumentos X₁[®] Blue (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*) e interferem, sobremaneira, nas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, na resistência à fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos (MENEZES, 2019).

Alcade et al. (2017) compararam a resistência a fadiga cíclica dos instrumentos em temperatura ambiente e corporal, e chegou à conclusão que o X₁[®] Blue 25.06 (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*) apresentou maior resistência à fadiga cíclica comparado ao Waveone[®] Gold 25.07 (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) nas duas temperaturas.

Estudos como o de Varghese et al. (2016) avaliaram a resistência à fratura torcional e resistência à fadiga cíclica de instrumentos ProTaper Next, WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) e Mtwo em movimento contínuo e recíprocante, utilizando um dispositivo de teste específico, fabricado sob medida. Os resultados demonstraram que os instrumentos WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*)

mostraram melhor desempenho em relação à fadiga cíclica devido à tecnologia M-Wire destes instrumentos.

Na pesquisa de Calefi *et al.* (2020) avaliaram a resistência à fadiga cíclica e torsional de sistema recíprocante W File 25.07 (WF, TDKaFile, México Cidade, México) e X₁[®] Blue File 25.06 (X1 BF, *MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil). Os resultados demonstraram que o X₁[®] (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) teve a maior resistência à fadiga cíclica e valores maiores de rotação para fratura em comparação com WF 25.07. No entanto, WF apresentou maior resistência à torção para fratura do que X₁[®] BF (X1 BF, *MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil).

Klymus *et al.* (2019) demonstraram que o X₁[®] 25.06 (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) apresenta resistência à fadiga cíclica semelhante à do Reciproc Blue R25 e Waveone[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) Gold 25.07, à temperatura corporal. No entanto, não há dados sobre a resistência à fadiga torcional desse instrumento.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que os instrumentos do sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) apresentaram maior resistência à fadiga cíclica nos dez canais simulados, quando comparados aos instrumentos do sistema X₁® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*).

Convém lembrar que não há na literatura estudos que comparam os sistemas WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) e o X₁® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*), quanto a sua resistência à fadiga cíclica. Portanto, novos estudos devem ter como objetivo comparar este ensaio entre os sistemas utilizados nesta pesquisa e desta forma, aumentar o número de evidências que confirmem a sua reprodutibilidade clínica.

REFERÊNCIAS

- ADIGÜZEL, Mehmet; CAPAR, Ismail Davut. Comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne and WaveOne Gold small, primary, and large instruments. **Journal of endodontics**, v. 43, n. 4, p. 623-627, 2017.
- ALCALDE, M.P. et al. Influência da temperatura no comportamento mecânico de instrumentos reciprocantes. Universidade de São Paulo. **Dental Press Endodontics**. v.7, n.3, p: 113- 2017, 2017.
- BAHIA, Maria Guiomar A.; BUONO, Vicente Tadeu Lopes. Decrease in the fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments after clinical use in curved root canals. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 100, n. 2, p. 249-255, 2005.
- CALEFI, Pedro Henrique Souza et al. Cyclic and torcional fatigue resistance of W File and X1 Blue file reciprocating instruments. **Dental Press Endod.**, May-Aug; v.10, n.2, p:60-6, 2020.
- CAPAR, Ismail Davut et al. Comparison of the cyclic fatigue resistance of 5 different rotary pathfinding instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, and controlled memory wire. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 4, p. 535-538, 2015.
- CAPAR, Ismail Davut et al. Comparison of cyclic fatigue resistance of nickel-titanium coronal flaring instruments. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 8, p. 1182-1185, 2014.
- CARVALHO, D. E. R. **Reciproc**: instrumento endodôntico de uso único. 2015. 22f. Dissertação (Faculdade de Odontologia de Piracicaba) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2015.
- COELHO, Marcelo Santos *et al.* Separation of Nickel-Titanium Rotary and Reciprocating Instruments: A Mini-Review of Clinical Studies. **The Open Dentistry Journal**, v. 12, p. 864, 2018.
- COLOMBO, Ana Paula M. *et al.* Efectiveness of the waveone and ProTaper D systems for removing gutta-percha with or without a solvent. **Acta Odontológica Latinoamericana**, v. 29, n. 3, p. 262-267, 2016.
- DE-DEUS, Gustavo et al. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne large instruments. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 4, p. 575-579, 2014.
- DE-DEUS, Gustavo et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. **Journal of endodontics**, v. 43, n. 3, p. 462-466, 2017.
- DIAS, Douglas Souza *et al.* Análise Morfométrica e Fadiga Cíclica de Limas Tipo K de uma Empresa Nacional. **Revista Brasileira de Odontologia**, v. 74, n. 2, p. 96, 2017.

DUKE, Frederic et al. Cyclic fatigue of ProFile Vortex and Vortex Blue nickel-titanium files in single and double curvatures. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 10, p. 1686-1690, 2015.

ELSAKA, S. E.; ELNAGHY, A. M.; BADR, A. E. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and twisted file adaptive instruments. **International endodontic journal**, v. 50, n. 11, p. 1077-1083, 2017.

ELNAGHY, A. M., ELSAKA, S. E. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 11, p. 1073-1078, 2016.

FERREIRA, F. *et al.* Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. **International endodontic journal**, v. 50, n. 2, p. 143-152, 2017.

GAGLIARDI, Jason et al. Evaluation of the shaping characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in curved canals. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 10, p. 1718-1724, 2015.

GAO, Yong et al. Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 38, n. 3, p. 398-401, 2012.

GUIMARÃES JUNIOR, E. **Instrumentos endodônticos de uso único**. 2013. 36f. Dissertação (Faculdade de Odontologia de Piracicaba) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

GRAÇA, Eduardo V.; PAIVA, Simone S. Marques. Limas reciprocantes no canal radicular. **Cadernos de Odontologia do UNIFESO**, v. 1, n. 2, 2020.

HA, Jung-Hong et al. Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 5, p. 715-719, 2015.

HECK, Luana. **Efeito do resfriamento com gás refrigerante na fadiga cíclica de dois instrumentos de níquel-titânio tratados termicamente**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Odontologia. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. 2021.

HIEAWY, Ahmed et al. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 7, p. 1134-1138, 2015.

HU, Xue et al. Low cycle fatigue properties of CLAM steel at 823 K. **Materials Science and Engineering: A**, v. 613, p. 404-413, 2014.

KAVAL, Mehmet Emin et al. Evaluation of the cyclic fatigue and torsional resistance of novel nickel-titanium rotary files with various alloy properties. **Journal of endodontics**, v. 42, n. 12, p. 1840-1843, 2016.

KESKIN, Cangül et al. Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, WaveOne Gold Glider, and ProGlider glide path instruments. **Clinical oral investigations**, v. 22, n. 9, p. 3007-3012, 2018.

KUBLITSKI, Prescila Mota et al. Eficácia do sistema WaveOne Gold no preparo de canais longo ovais com instrumentos únicos e em modo sequencial. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e53010515500-e53010515500, 2021.

KLYMUS, Michel Espinosa et al. Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical oral investigations**, v. 23, n. 7, p. 3047-3052, 2019.

LOPES, Hélio P. et al. Effects of electropolishing surface treatment on the cyclic fatigue resistance of BioRace nickel-titanium rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 36, n. 10, p. 1653-1657, 2010.

LOPES, N. M. et al. Sistema de rotação alternada (Reciproc®): aplicação em canais curvos. **Rev UNINGÁ Review**, v. 19, n. 3, p. 56-60, 2014.

LOPES, Hélio Pereira et al. Cyclic fatigue of ProTaper instruments. **Journal of endodontics**, v. 33, n. 1, p. 55-57, 2007.

LOPES, Hélio P. et al. Influence of rotational speed on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of endodontics**, v. 35, n. 7, p. 1013-1016, 2009.

LOPES, Hélio P. et al. Influence of the geometry of curved artificial canals on the fracture of rotary nickel-titanium instruments subjected to cyclic fatigue tests. **Journal of endodontics**, v. 39, n. 5, p. 704-707, 2013.

MACHADO, Manoel Eduardo de Lima *et al.* Análise do tempo de trabalho da instrumentação recíproca com limaúnica: WaveOne e Reciproc. **Revista da associação paulista de cirurgiões dentistas**, v. 66, n. 2, p. 120-125, 2012.

MATTOS, Ida G. Frizon de et al. Tratamento endodôntico de molar inferior utilizando sistema X1 blue e XP clean: relato de caso clínico. **Revista Gestão & Saúde**, v.22, n.1, p:52-60, 2020.

MENEZES, Carolina Gomes de. **Resistência em fadiga cíclica de instrumentos recíprocos fabricados com ligas de níquel-titânio submetidas a diferentes tratamentos térmicos**. 2019. 40f. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

NGUYEN, Harrison H. et al. Evaluation of the resistance to cyclic fatigue among ProTaper Next, ProTaper Universal, and Vortex Blue rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 8, p. 1190-1193, 2014.

OLIVEIRA, Paula Tereza Vardasca de. **Avaliação da resistência à fadiga cíclica de limas rotatórias e reciprocantes**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 2015.

ÖZYÜREK, Taha. Cyclic fatigue resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold nickel-titanium instruments. **Journal of endodontics**, v. 42, n. 10, p. 1536-1539, 2016.

PEDULLÀ, Eugenio et al. Cyclic fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments according to the angle of file access and radius of root canal. **Journal of endodontics**, v. 46, n. 3, p. 431-436, 2020.

PELTON, A. R. et al. Rotary-bending fatigue characteristics of medical-grade Nitinol wire. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v. 27, p. 19-32, 2013.

PEREIRA, Érika Sales Joviano et al. Behavior of nickel-titanium instruments manufactured with different thermal treatments. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 1, p. 67-71, 2015.

PLOTINO, Gianluca et al. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 7, p. 614-618, 2012.

PLOTINO, Gianluca et al. Blue treatment enhances cyclic fatigue resistance of vortex nickel-titanium rotary files. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 9, p. 1451-1453, 2014.

PLOTINO, Gianluca et al. Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of ProTaper Gold and ProTaper Universal rotary files. **Journal of endodontics**, v. 43, n. 2, p. 200-202, 2017.

POY, Marília Emília Riede; SOLDA, Caroline; VANNI, José Roberto. Prevalência de fraturas de instrumentos endodônticos de NiTi durante o tratamento endodôntico. **Journal of Oral Investigations**, v. 7, n. 1, p. 3-13, 2018.

POVEDA, L.M. **Avaliação da resistência a fadiga cíclica flexural dos instrumentos Reciproc Blue e Waveone Gold**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Odontologia de São Paulo. São Paulo, 2017.

PRUETT, John P et al. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of endodontics**, v. 23, n. 2, p. 77-85, 1997.

RUDDLE, Clifford J. Endodontic canal preparation: WaveOne single-file technique. **Dent Today**, v. 31, n. 1, p. 124-126, 2012.

SHEN, Ya et al. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **Journal of endodontics**, v. 39, n. 2, p. 163-172, 2013.

SILVA, Emmanuel JNL et al. Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Four Martensite-Based Nickel Titanium Reciprocating Instruments. **European Endodontic Journal**, v. 5, n. 3, p. 231, 2020.

SILVA, Emmanuel João Nogueira Leal et al. Effectiveness of rotatory and reciprocating movements in root canal filling material removal. **Brazilian oral research**, v. 29, n. 1, p. 01-06, 2015.

SILVA, Emmanuel João Nogueira Leal et al. Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc, Unicone, and WaveOne reciprocating instruments. **Journal of endodontics**, v. 42, n. 12, p. 1789-1793, 2016.

TAVARES, Warley Luciano et al. Índice de fratura de instrumentos manuais de aço inoxidável e rotatórios de NiTi em clínica de pósgraduação em Endodontia. **Archives of Dental Science/Arquivos em Odontologia**, v. 51, n. 3, 2015.

THOMPSON, Steven R. et al. Influence of residual stresses on high cycle fatigue strength of Ti-6Al-4V subjected to foreign object damage. **International journal of fatigue**, v. 23, p. 405-412, 2001.

TOPÇUOĞLU, Hüseyin Sinan; TOPÇUOĞLU, Gamze. Cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue and Reciproc files in an S-shaped canal. **Journal of endodontics**, v. 43, n. 10, p. 1679-1682, 2017.

TSUJIMOTO, Masaki et al. Comparison of conventional and new-generation nickel-titanium files in regard to their physical properties. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 11, p. 1824-1829, 2014.

UYGUN, A. D. et al. Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. **International endodontic journal**, v. 49, n. 5, p. 494-499, 2016.

YANG, Y. et al. Mechanisms of fatigue in LIGA Ni MEMS thin films. **Materials Science and Engineering: A**, v. 444, n. 1-2, p. 39-50, 2007.

VADHANA, Sekar et al. Cyclic fatigue resistance of RaCe and Mtwo rotary files in continuous rotation and reciprocating motion. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 7, p. 995-999, 2014.

VARGHESE, N. O. et al. Resistance to torsional failure and cyclic fatigue resistance of ProTaper Next, WaveOne, and Mtwo files in continuous and reciprocating motion: An in vitro study. **Journal of conservative dentistry: JCD**, v. 19, n. 3, p. 225, 2016.

WEBBER, J. et al. The WaveOne single-file reciprocating system. **Roots**, v. 1, n. 28-33, p. 28-33, 2011.

ZUPANC, J. et al. New thermomechanically treated NiTi alloys—a review. **International endodontic journal**, v. 51, n. 10, p. 1088-1103, 2018.

APÊNDICE

Apêndice A – Artigo Científico

RESISTÊNCIA À FADIGA CÍCLICA DOS INSTRUMENTOS DO SISTEMA X1 E WAVE ONE

Antonio Ítalo Oliveira¹

Prof. Dr. Alex Sandro Mendonça Leal²

Resumo

A fratura por fadiga cíclica ocorre quando um instrumento é submetido a consecutivas cargas de compressão e tensão no mesmo ponto, na região da curvatura, ocorrendo tensão na porção externa do instrumento e compressão na porção interna ao mesmo tempo. O objetivo deste estudo foi comparar a resistência à fadiga cíclica de instrumentos do sistema X1[®] Blue (Porto Alegre, RS, Brasil) e WaveOne[®] Gold (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) em canais curvos artificiais confeccionados em acrílico, através do teste de resistência a fadiga cíclica. O estudo foi caracterizado como sendo experimental e descritivo, utilizando-se o método de abordagem quantitativa e realizado no laboratório pré-clínico de Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB). Um total de 20 instrumentos de níquel-titânio (NiTi) com Memória de Forma Controlada MFC) foram utilizados, no movimento recíprocante, sendo 10 instrumentos WaveOne[®] Gold primary (20.07) (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) e 10 instrumentos do sistema X1[®] (20.06) (Porto Alegre, RS, Brasil). Os resultados demonstraram que os instrumentos do sistema WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) apresentaram melhor resistência à fadiga cíclica quando comparados aos instrumentos do sistema X1[®](Porto Alegre, RS, Brasil).

Palavras-chaves: Instrumentos. Fratura. Fadiga Cíclica.

Abstract

Cyclic fatigue fracture occurs when an instrument is subjected to consecutive compression and tension loads at the same point, in the curvature region, with the metal undergoing tension in the outer portion and compression in the inner portion at the same time. This study aims to compare the cyclic fatigue resistance of instruments of the X1[®] Blue (Porto Alegre, RS, Brazil) and WaveOne[®] Gold (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) system in artificial curved channels made of acrylic, through the cyclic fatigue resistance test. The study was characterized as being experimental and descriptive, using the method of quantitative approach. The research was carried out in the pre-clinical dentistry laboratory of the University Center Dom Bosco Higher Education Unit. To carry out the experiment, a total of 20 nickel-titanium files were used, being 10 instruments from WaveOne[®] Gold primary (20.07) (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) and 10 instruments from the X1[®] system (20.06) (Porto Alegre, RS, Brazil). The results showed that the instruments of the WaveOne[®] system (*Dentsply*

¹ Aluno do curso de Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco.

² Orientador.

Maillefer, Ballaigues, Switzerland) presented better resistance to cyclic fatigue when compared to the instruments of the X1® system (Porto Alegre, RS, Brazil).

Keywords: Instruments. Fracture. Cyclic fatigue.

1 INTRODUÇÃO

O sucesso de um tratamento endodôntico não cirúrgico está profundamente associado com a manutenção da forma original do canal radicular e com a redução de iatrogenias. O surgimento de instrumentos de Níquel-Titânio (NiTi) passou a ser uma ferramenta indispensável na instrumentação de canais radiculares, principalmente devido à alta flexibilidade, eficiência de corte e preparos bem centralizados, mantendo a anatomia original do canal radicular, com menor frequência de acidentes como perfurações, desvios e degraus (GRAÇA; PAIVA, 2020).

Entretanto, a complexa anatomia do sistema de canais radiculares (SCR) pode ocasionar a fratura dos instrumentos, especialmente em atresias e curvaturas, o que pode afetar o sucesso do tratamento endodôntico (TSUJIMOTO *et al.*, 2014; PRUETT *et al.*, 1997).

A causa da fratura de instrumentos ocorre principalmente devido à torção e fadiga cíclica, onde está ocorre principalmente em canais curvos através do giro de um instrumento que induz a formação de tensões compressivas alternada que se acumulam após um determinado período (COLOMBO *et al.*, 2016; TSUJIMOTO *et al.*, 2014; PRUETT *et al.*, 1997).

O movimento recíprocante reduziu a fadiga cíclica e torcional dos instrumentos endodônticos, e somado a isso as ligas submetidas ao tratamento termomecânico de superfície, como a liga M-wire, proporcionaram considerável melhora das propriedades mecânicas, em relação à liga de NiTi convencional (COLOMBO *et al.*, 2016).

Em 2011, foi lançado o sistema Reciproc (VDW, Munique, Alemanha), apresentando liga de NiTi M-Wire e com a ideia de instrumentação com lima única. A cinemática desse sistema oscila em uma angulação de 150° no sentido anti-horário e 30° no sentido horário (MACHADO *et al.*, 2012).

Desde então, vários sistemas recíprocantes foram lançados, com diferentes ligas e características próprias dos seus instrumentos. O sistema WaveOne® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), com grande destaque no mercado, também

possui instrumento único, seção transversal triangular convexa e liga de NiTi com tratamento térmico de superfície M-wire (COLOMBO *et al.*, 2016).

Entretanto, para melhorar ainda mais as propriedades mecânicas, esse sistema apresentou melhorias no seu tratamento termomecânico de superfície, possibilitando uma cor dourada patenteada dos seus instrumentos, surgindo assim o sistema WaveOne® Gold (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça), com memória de forma controlada (MFC) (COLOMBO *et al.*, 2016).

Outro sistema reciprocante lançado, o X₁® (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil), confeccionado com liga de NiTi tratada termicamente, possibilitou maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica, onde o tratamento de superfície precipita uma camada de óxido de titânio na superfície proporcionando a cor azul característica aos seus instrumentos, conferindo a esse sistema a propriedade de MFC (MATTOS *et al.*, 2020).

Considerando a grande oferta de sistemas para a instrumentação SCR, ressalta-se importância do desempenho mecânico dos instrumentos, principalmente em casos de complexidade anatômica, como os canais atrésicos e curvos.

A resistência à fadiga cíclica está relacionada a múltiplos fatores, como o diâmetro do instrumento e composição da liga metálica e representa o número de ciclos que um instrumento consegue resistir sob uma condição de carga específica antes de fraturar (FERREIRA *et al.*, 2017).

O sucesso do tratamento endodôntico depende de vários fatores, e a etapa do reparo do canal radicular assume extremamente relevância. Nesse sentido, os sistemas X₁® (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) e WaveOne® (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça) surgem como alternativa para formatação dos canais radiculares, porém apesar do movimento reciprocante reduzir, não elimina o risco fratura do instrumento endodôntico.

Portanto, este estudo busca investigar a influência de ligas de NiTi de memória de forma controlada na resistência à fratura cíclica dos sistemas reciprocantes X₁® (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) e WaveOne® Gold (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Suíça), através do teste de resistência à fadiga cíclica.

2 METODOLOGIA

O estudo foi caracterizado como sendo experimental e descritivo, utilizando-se o método de abordagem quantitativa, realizado no laboratório pré-clínico de Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco.

Para a realização do experimento, foram utilizadas um total de 20 limas de NiTi, sendo 10 instrumentos WaveOne[®] Gold primary (20.07) (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) e 10 instrumentos do sistema X₁[®] (20.06) (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) apresentando características morfogeométricas semelhantes, como o diâmetro da ponta e pelo fato de apresentarem tratamento da liga de NiTi com MFC, sendo assim, apresentam uma forma de padronização durante a comparação após a realização do ensaio.

A pesquisa utilizou-se uma amostragem não probabilística por conveniência. Todos os instrumentos são comercializados em embalagem blister estéril pelos fabricantes. Portanto, os instrumentos não foram esterilizados previamente ao teste de fadiga cíclica. Os instrumentos foram acionados no motor eletrônico VDW Silver[®] (VDW, Munique, Alemanha) na função Reciproc All e na função WaveOne All.

Os instrumentos foram acionados até que ocorresse sua fratura seguindo o tipo do movimento, torque e velocidade recomendadas pelo fabricante e disponível na programação do motor VDW Silver[®] (VDW[®], Munique, Alemanha), sendo modo “WAVE ONE ALL” para as limas WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça).

O modo “RECIPROC ALL” foi utilizado para o acionamento das limas X₁[®]. Para ambos os sistemas utilizados, antes da instrumentação foi realizado a calibração do motor.

O ensaio de fadiga cíclica foi realizado utilizando um dispositivo confeccionado em aço inoxidável e revestido de poliuretano vermelho para fixar o canal artificial em acrílico e garantir que a instrumentação fosse realizada na medida certa padronizada.

A instrumentação do canal foi realizada em um canal simulado de resina de poliéster transparente, que apresenta um ângulo de curvatura de 32°, raio de curvatura de 3 mm, saída do forame de 0,2 mm e comprimento total de 16 mm, permitindo que as limas girem livremente e o canal permaneça fixado pelo dispositivo durante os testes.

O dispositivo permitiu uma posição precisa e reproduzível da curvatura a ser estabelecida para todos os instrumentos, sendo que o comprimento de trabalho foi 15 mm, entretanto, a espessura da parte superior do aparato tinha uma espessura de 3mm e desta forma, o comprimento de trabalho totalizou 18 mm.

Além disso, a base do dispositivo foi fixada na posição escolhida. Cumpre lembrar que o canal artificial foi aberto em sua parte superior para possibilitar a observação direta do momento da fratura.

Todos os instrumentos foram acionados no movimento recíprocante até a ocorrência da fratura, momento este que foi registrado por um cronômetro digital e o tempo da fratura foi registrado em segundos, no qual foi detectada visual e audivelmente. Os instrumentos giraram livremente dentro do canal simulado. Todos os procedimentos foram realizados em temperatura ambiente de 37°C.

As análises foram realizadas utilizando o software IBM SPSS 26. Para facilitar a análise, a variável tempo foi utilizada em segundos. O nível de significância foi estabelecido em 5%.

3 RESULTADOS

Foram realizados 10 testes com cada instrumento escolhido, no qual observa-se na tabela 1.

Tabela 1 – Teste e tempo

X₁[®] (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil)		WaveOne[®] (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)	
Nº de teste	Tempo (minutos)	Nº de teste	Tempo (minutos)
1	4:29	1	7:58
2	5:45	2	8:43
3	2:25	3	4:27
4	2:27	4	10:57
5	3:09	5	4:24
6	2:46	6	9:40

7	2:08	7	9:14
8	2:81	8	9:35
9	2:26	9	10:15
10	2:35	10	9:17

Fonte: Autor da pesquisa (2021).

Observa-se na tabela acima, que WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) apresentou maior tempo quando comparado com X₁® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*), no qual verifica que existe uma diferença na maioria dos testes de 6 minutos entre eles, sendo que no quarto e no nono teste a diferença foi maior, de 8 minutos.

Entretanto, verificou-se que dois testes houve diferença reduzida, ou seja, no primeiro teste, houve uma diferença de 3 minutos e no quinto teste, a diferença foi menor, de 1 minuto, mas sempre com os instrumentos do sistema WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) com um maior tempo até a fratura.

A tabela 2 com as análises descritivas, com a média de tempo entre os grupos, na qual observa-se que X₁® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*) possui média de 184,10 segundos e WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) de 507 segundos, demonstrando que o segundo instrumento apresenta um tempo maior de resistência à fratura quando comparada ao segundo grupo.

Tabela 2 – Tempo de resistência (em segundos) entre os instrumentos pesquisados

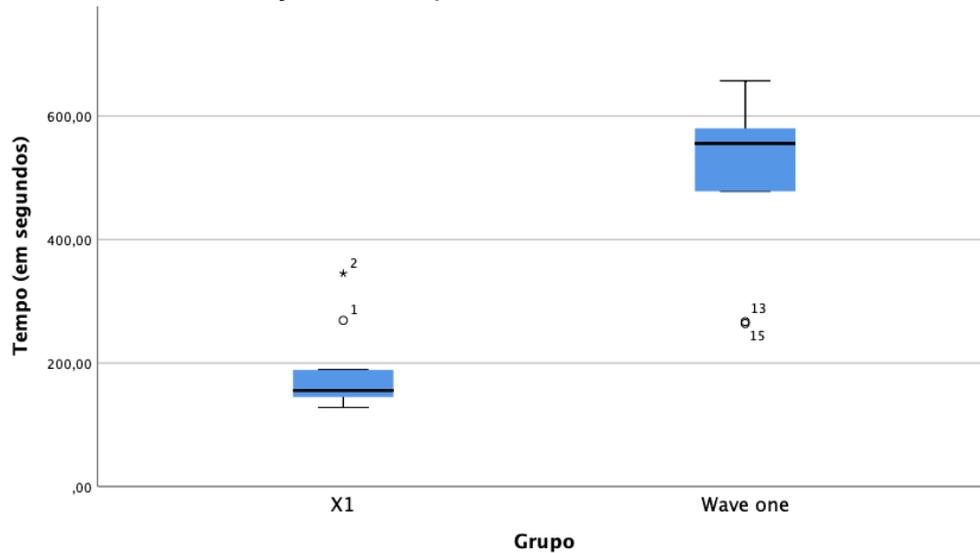
	Grupo	
	X₁® (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil)	WaveOne® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
	Média	Média
Tempo (em segundos)	184,10	507,00

Fonte: Autor da pesquisa (2021).

Para melhor visualização o gráfico 1 demonstra as distribuições de tempo entre as variáveis entre os instrumentos analisados. Observa-se que as caixas não

estão emparelhadas, mostrando os valores de WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) superiores aos de X1® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*).

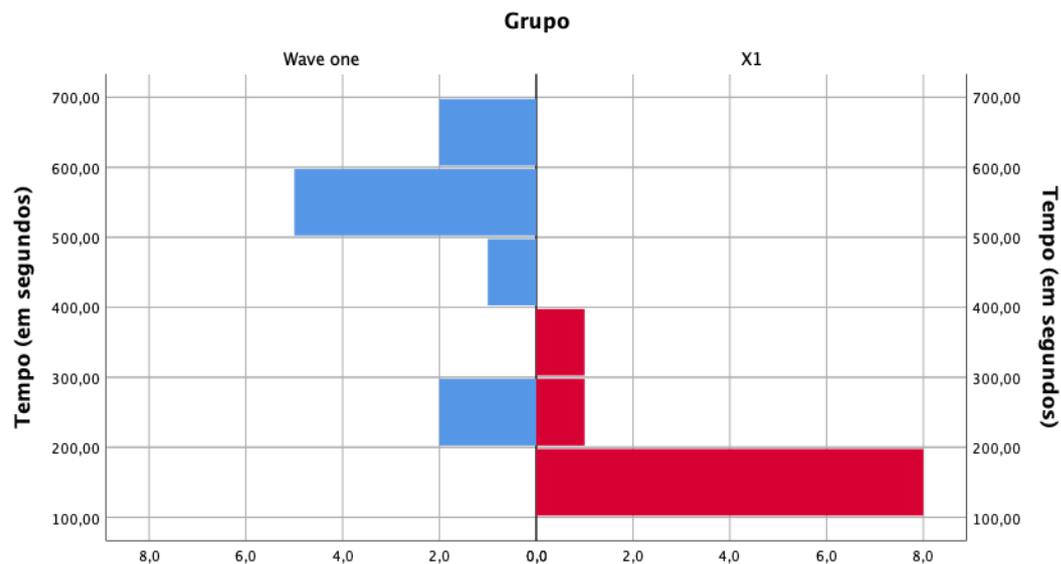
Gráfico 1 – Distribuição de tempo de resistência.



Fonte: Autor da pesquisa (2021).

No gráfico 2 observa-se também que conforme a distribuição dos tempos (em segundos), os valores de WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) superiores aos de X1® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*).

Gráfico 2 – Comparação do tempo de resistência entre os instrumentos.



Fonte: Autor da pesquisa (2021).

Verifica-se no gráfico 1, que existe uma concentração do tempo do X₁[®] (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) entre 100 e 200 segundos, já o WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) encontra-se 500 a 700 segundos. Portanto, o WaveOne[®].

4 DISCUSSÃO

A fratura de limas é uma das principais preocupações ao longo de instrumentação do sistema de canais radiculares e como foi relatado anteriormente, existem múltiplos fatores responsáveis por esse acidente durante a utilização dos instrumentos endodônticos, contudo, a fadiga cíclica a principal causa de fraturas de instrumentos movidos a motor, sobretudo nos casos de canais com curvaturas severas (ELNAGHY, ELSAKA, 2016; HA *et al.*, 2015).

Para a realização do teste de fratura são usados ensaios estáticos e dinâmicos (CAPAR *et al.*, 2014; VADHANA *et al.*, 2014), sendo que o modelo dinâmico compreende um movimento axial cíclico no instrumento (movimento *pecking motion*), que relata com mais precisão o uso clínico.

Verifica-se que a adição do movimento axial cíclico adia a vida útil dos instrumentos, conforme dados do estudo de Lopes *et al.* (2013). Contudo, não existe uma velocidade recomendada para os movimentos de entrada e saída das limas, e a distância percorrida durante o movimento axial não é padronizada, portanto, estas são variáveis bastante subjetivas dependentes do operador e deste modo, difíceis de serem controladas experimentalmente (OLIVEIRA, 2015).

Por causa desses fatores, o estudo usou o movimento estático, com a finalidade de diminuir as chances de interferências no resultado da pesquisa, como aplicada em outros estudos (LOPES *et al.*, 2013; DE-DEUS *et al.*, 2014; DE-DEUS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

O tempo até a fratura foi método utilizado para avaliar a resistência à fadiga cíclica (CAPAR *et al.*, 2014; ELNAGHY *et al.*, 2014; CAPAR *et al.*, 2015). O tempo até a falha apresenta, clinicamente, mais informações relevantes, por ser muito mais fácil para o operador observar quando comparado com o número de ciclos para a fratura.

Nesse contexto, os resultados do estudo demonstraram que a marca WaveOne® apresentou maior resistência à fatura do que a marca X₁® (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil).

Estudos ressaltam que o sistema WaveOne® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) por receber um tratamento térmico maior, produz melhor flexibilidade e resistência à fadiga do que outros instrumentos, visto que com alteração nas microestruturais, amplia-se as propriedades físicas e mecânicas dos instrumentos mecanizados (ENALGHY, ELSAKA, BARD, 2016; GAGLIARDI *et al.* 2015; HIEAWY *et al.* 2015).

Associado a essas alterações, no processo de fabricação, existe a implementação do movimento de alargamento recíprocante, que também promove uma ampliação da vida útil e maior resistência a fadiga cíclica, quando comparado movimento de rotação contínua (ALCALDE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

Dados concomitante com estudo de Heck (2021) que avaliaram 20 instrumentos de cada sistema foram selecionados (n=40) e divididos em dois grupos: TC, temperatura corporal (37°C ± 1°C) e TCR, temperatura corporal com resfriamento.

O tempo de fratura foi registrado. Os resultados demonstraram que o instrumento WaveOne® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) teve significativamente maior resistência à fadiga em comparação com o instrumento X₁® (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil). Todavia o estudo verificou que ambos os instrumentos mostraram características típicas de comportamento de fadiga cíclica a luz da microscopia eletrônica de varredura (HECK, 2021).

Também semelhante ao estudo de Menezes (2019) que avaliaram e compararam a resistência em fadiga cíclica de sistemas recíprocantes de lima única. Os resultados demonstraram que WaveOne® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) apresentou uma vida em fadiga cíclica maior do que a X₁® (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil) nos dois programas testados ($p < 0.05$).

O mesmo autor ressalta que os instrumentos WaveOne® possui uma conicidade de 0,07 mm/mm, enquanto, que o instrumento X₁® Blue (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil) tem uma conicidade de 30 0,06 mm/mm, isoladamente, a menor conicidade apresentada pelo sistema X₁® (MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil) poderia lhe proporcionar uma maior resistência à fadiga.

Todavia, outras variáveis também estão vinculadas aos resultados, com relação à fadiga, como os defeitos de acabamento superficial encontrados nos

instrumentos X₁[®] Blue (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) e interferem, sobremaneira, nas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, na resistência à fadiga cíclica dos instrumentos endodônticos (MENEZES, 2019).

Alcade *et al.* (2017) compararam a resistência a fadiga cíclica dos instrumentos em temperatura ambiente e corporal, e chegou à conclusão que o X₁[®] Blue 25.06 (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) apresentou maior resistência à fadiga cíclica comparado ao Waveone[®] Gold 25.07 (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) nas duas temperaturas.

Estudos como o de Varghese *et al.* (2016) avaliaram a resistência à fratura torcional e resistência à fadiga cíclica de instrumentos ProTaper Next, WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) e Mtwo em movimento contínuo e recíprocante, utilizando um dispositivo de teste específico, fabricado sob medida.

Os resultados demonstraram que os instrumentos WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) mostraram melhor desempenho em relação à fadiga cíclica devido à tecnologia M-Wire destes instrumentos (VARGHESE *et al.*, 2016).

Na pesquisa de Calefi *et al.* (2020) avaliaram a resistência à fadiga cíclica e torsional de sistema recíprocante W File 25.07 (WF, TDKaFile, México Cidade, México) e X₁[®] Blue File 25.06 (X1 BF, *MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil). Os resultados demonstraram que o X₁[®] (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) teve a maior resistência à fadiga cíclica e valores maiores de rotação para fratura em comparação com WF 25.07. No entanto, WF apresentou maior resistência à torção para fratura do que X₁[®] BF (X1 BF, *MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil).

Klymus *et al.* (2019) demonstraram que o X₁[®] 25.06 (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil) apresenta resistência à fadiga cíclica semelhante à do Reciproc Blue R25 e Waveone[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) Gold 25.07, à temperatura corporal. No entanto, não há dados sobre a resistência à fadiga torcional desse instrumento.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que os instrumentos do sistema WaveOne[®] (*Dentsply Maillefer, Ballaigues*, Suíça) apresentaram maior resistência à fadiga cíclica nos dez canais simulados, quando comparados aos instrumentos do sistema X₁[®] (*MK Life*, Porto Alegre, RS, Brasil).

Convém lembrar que não há na literatura estudos que comparam os sistemas WaveOne® (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça*) e o X1® (*MK Life, Porto Alegre, RS, Brasil*), quanto a sua resistência à fadiga cíclica. Portanto, novos estudos devem ter como objetivo comparar este ensaio entre os sistemas utilizados nesta pesquisa e desta forma, aumentar o número de evidências que confirmem a sua reprodutibilidade clínica.

REFERÊNCIAS

ALCALDE, M.P. et al. Influência da temperatura no comportamento mecânico de instrumentos reciprocantes. Universidade de São Paulo. **Dental Press Endodontics**. v.7, n.3, p: 113- 2017, 2017.

CALEFI, Pedro Henrique Souza et al. Cyclic and torcional fatigue resistance of W File and X1 Blue file reciprocating instruments. **Dental Press Endod.**, May-Aug; v.10, n.2, p:60-6, 2020.

CAPAR, Ismail Davut et al. Comparison of the cyclic fatigue resistance of 5 different rotary pathfinding instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, and controlled memory wire. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 4, p. 535-538, 2015.

CAPAR, Ismail Davut et al. Comparison of cyclic fatigue resistance of nickel-titanium coronal flaring instruments. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 8, p. 1182-1185, 2014.

COLOMBO, Ana Paula M. *et al.* Efectiveness of the waveone and ProTaper D systems for removing gutta-percha with or without a solvent. **Acta Odontológica Latinoamericana**, v. 29, n. 3, p. 262-267, 2016.

DE-DEUS, Gustavo et al. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne large instruments. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 4, p. 575-579, 2014.

DE-DEUS, Gustavo et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. **Journal of endodontics**, v. 43, n. 3, p. 462-466, 2017.

ELSAKA, S. E.; ELNAGHY, A. M.; BADR, A. E. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and twisted file adaptive instruments. **International endodontic journal**, v. 50, n. 11, p. 1077-1083, 2017.

ELNAGHY, A. M., ELSAKA, S. E. Mechanical properties of ProTaper Gold nickeltitanium rotary instruments. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 11, p. 10731078, 2016.

FERREIRA, F. *et al.* Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. **International endodontic journal**, v. 50, n. 2, p. 143-152, 2017.

GAGLIARDI, Jason *et al.* Evaluation of the shaping characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in curved canals. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 10, p. 1718-1724, 2015.

HA, Jung-Hong *et al.* Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 5, p. 715-719, 2015.

HECK, Luana. **Efeito do resfriamento com gás refrigerante na fadiga cíclica de dois instrumentos de níquel-titânio tratados termicamente**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Odontologia. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. 2021.

HIEAWY, Ahmed *et al.* Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 7, p. 1134-1138, 2015.

KLYMUS, Michel Espinosa *et al.* Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical oral investigations**, v. 23, n. 7, p. 3047-3052, 2019.

LOPES, Hélio P. *et al.* Influence of the geometry of curved artificial canals on the fracture of rotary nickel-titanium instruments subjected to cyclic fatigue tests. **Journal of endodontics**, v. 39, n. 5, p. 704-707, 2013.

MACHADO, Manoel Eduardo de Lima *et al.* Análise do tempo de trabalho da instrumentação recíproca com limaúnica: WaveOne e Reciproc. **Revista da associação paulista de cirurgiões dentistas**, v. 66, n. 2, p. 120-125, 2012.

MATTOS, Ida G. Frizon de *et al.* Tratamento endodôntico de molar inferior utilizando sistema X1 blue e XP clean: relato de caso clínico. **Revista Gestão & Saúde**, v.22, n.1, p:52-60, 2020.

MENEZES, Carolina Gomes de. **Resistência em fadiga cíclica de instrumentos recíprocos fabricados com ligas de níquel-titânio submetidas a diferentes tratamentos térmicos**. 2019. 40f. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

OLIVEIRA, Paula Tereza Vardasca de. **Avaliação da resistência à fadiga cíclica de limas rotatórias e recíprocos**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 2015.

PRUETT, John P *et al.* Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of endodontics**, v. 23, n. 2, p. 77-85, 1997.

SILVA, Emmanuel João Nogueira Leal et al. Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc, Unicone, and WaveOne reciprocating instruments. **Journal of endodontics**, v. 42, n. 12, p. 1789-1793, 2016.

TSUJIMOTO, Masaki et al. Comparison of conventional and new-generation nickel-titanium files in regard to their physical properties. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 11, p. 1824-1829, 2014.

VARGHESE, N. O. et al. Resistance to torsional failure and cyclic fatigue resistance of ProTaper Next, WaveOne, and Mtwo files in continuous and reciprocating motion. An in vitro study. **Journal of conservative dentistry: JCD**, v. 19, n. 3, p. 225, 2016.