



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**EDUARDO SIERVI RESENDE**

**INFLUÊNCIA DO DESGASTE NAS VIBRAÇÕES DOS  
INSTRUMENTOS ROTATÓRIOS DE NÍQUEL-TITÂNIO COM  
TRATAMENTO TÉRMICO**

**OURO PRETO - MG**  
**2023**

**EDUARDO SIERVI RESENDE**  
**eduardosiervi@gmail.com**

**INFLUÊNCIA DO DESGASTE NAS VIBRAÇÕES DOS  
INSTRUMENTOS ROTATÓRIOS DE NÍQUEL-TITÂNIO COM  
TRATAMENTO TÉRMICO**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal de Ouro  
Preto como requisito para a obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** Prof. Dr. Gustavo Paulinelli Guimarães.

**OURO PRETO – MG**  
**2023**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R433i Resende, Eduardo Siervi.  
influência do desgaste nas vibrações dos instrumentos rotatórios de níquel-titânio com tratamento térmico. [manuscrito] / Eduardo Siervi Resende. - 2023.  
46 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Paulinelli.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Ligas (Metalurgia) - Níquel-titânio. 2. Endodontia. 3. Níquel Titânio (NiTi). 4. Vibração - Medição - Frequência natural. 5. Vibração. 6. Desgaste mecânico. I. Paulinelli, Gustavo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Eduardo Siervi Resende**

### **Influência do desgaste nas vibrações dos instrumentos rotatórios de Níquel-Titânio com tratamento térmico**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 04 de agosto de 2023

#### Membros da banca

Dr. Gustavo Paulinelli Guimarães - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Me. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Danny Augusto Vieira Tonidandel (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Gustavo Paulinelli Guimarães, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 14/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Paulinelli Guimaraes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/08/2023, às 08:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0572678** e o código CRC **78879053**.

Aos que me acompanharam, dedico mais esta etapa vencida.

A minha família, pelo carinho e meus professores, pelos ensinamentos.

## **AGRADECIMENTO**

A minha família, pelo incentivo e todo o esforço imensurável.

A minha mãe por todo o carinho e compreensão

As minhas irmãs por todo o companheirismo

Ao meu pai por todos os ensinamentos e conversas, por ser o pilar e fundação que me sustenta em pé, e por me mostrar tudo que a vida pode nos oferecer se estivermos dispostos a buscar.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

Ao meu orientador Gustavo Paulinelli Guimarães, por acreditar e guiar meus passos.

Ao Seis Ponto Bola, por estar presente todos esses anos, não como fardo, mas como alívio.

*“há muita gente que nasceu para ter ideia no jeito, e outros pra dela tirar proveito”.*

Antônio Márcio Resende do Carmo

## RESUMO

O presente estudo buscou avaliar a influência do desgaste nas vibrações dos instrumentos endodônticos rotatórios de nickel-titânio (NiTi) com tratamento térmico, medindo as vibrações presentes nas limas em diferentes estágios de desgaste. Para desenvolver a metodologia de análise das frequências presentes no sistema, utilizou-se um torno mecânico para fixar o experimento, dadas suas características de rigidez, bem como sua capacidade de realizar repetidas vezes o mesmo movimento com repetibilidade. Estabeleceu-se o procedimento para que não se incluísse variáveis indesejadas no trabalho tais como as advindas de amortecimento na fixação. Os ciclos de desgaste foram elaborados visando uma simulação do preparo de um canal radicular, para tal empregou-se blocos de resina acrílica com canais pré-furados. Com base em 6 ciclos de desgaste e medição das vibrações, foi possível observar a evolução da frequência natural da lima. Durante os testes, as frequências naturais demonstraram uma tendência de aumento diretamente proporcional ao desgaste com variações significativas e mensuráveis. Considerando a metodologia empregada pode-se concluir que existe a possibilidade de relação entre o uso da lima e a variação de sua frequência natural.

**Palavras-chave:** NiTi, Níquel-Titânio, Vibração, Frequência Natural, Endodontia, Desgaste



## ABSTRACT

*The present study aimed to assess the influence of wear on the vibrations of nickel-titanium (NiTi) rotary instruments with heat treatment, by measuring the vibrations present in the files at different stages of wear. To develop the methodology for analyzing the frequencies present in the system, a lathe was used to fix the entire experiment, given its characteristics of rigidity and ability to repeatedly perform the same movement with precision. A standard procedure was established to avoid the inclusion of unwanted variables in the study. Wear cycles were designed to simulate the preparation of a root canal, using blocks of acrylic resin with pre-drilled canals. Based on 6 wear cycles and vibration measurements, the evolution of the natural frequency of the file was observed. During the tests, the natural frequencies showed a trend of proportional increase with significant and measurable variations as wear progressed. Considering the employed methodology, it can be concluded that there is a direct correlation between wear and natural frequency.*

Key-words: NiTi, Nickel-Titanium, Vibration, Natural Frequency, Endodontics, Wear

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Instrumento fraturado dentro do canal radicular	15
Figura 2: Canais radiculares destacados em marrom	17
Figura 3: Lima endodôntica para utilização motorizada	18
Figura 4: Evolução dos tratamentos nas ligas de NiTi	19
Figura 5: Radiografias de instrumentos fraturados em molares inferiores	20
Figura 6: Bancada para análise das vibrações	22
Figura 7: Viga em balanço carregamento estático (a) carregamento dinâmico (b)	22
Figura 8: Esquema de montagem para aquisição de sinal.	24
Figura 9: Fixação do acelerômetro no contra-ângulo	26
Figura 10: Lima Hyflex CM 04/25	27
Figura 11: Procedimento de medição e desgaste da lima	27
Figura 12: Fixação da lâmina para aplicação da força	28
Figura 13: Fixação do bloco de resina acrílica	28
Figura 14: Fixação do contra-ângulo	29
Figura 15: Blocos acrílicos Easy	29
Figura 16: VDW SILVER RECIPROC	30
Figura 17: À direita o acelerômetro e a esquerda a cêra	31
Figura 18: Placa de aquisição da National Instruments	31
Figura 19: <i>Front Painel</i> do Labview para vibrações livres	32
Figura 20: Sinal obtido na medição de vibração livre no primeiro ciclo	33
Figura 21: Espectro obtido na medição de vibração livre no primeiro ciclo	34
Figura 22: Espectro obtido da medição das vibrações livres	34
Figura 23: Detalhe do espectro obtido da medição das vibrações livres	35
Figura 24: Frequências naturais em função dos ciclos	36

Figura 25: Sinal da medição de vibração forçada	36
Figura 26: Espectro da medição de vibração forçada	37
Figura 27: Espectro de vibração forçada (ciclo 1 a esquerda e ciclo 2 a direita)	38
Figura 28: Espectro de vibração forçada (ciclo 3 a esquerda e ciclo 4 a direita)	38
Figura 29: Espectro de vibração forçada (ciclo 5 a esquerda e ciclo 6 a direita)	38

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Variáveis e Indicadores

30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Formulação do Problema	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Geral	16
1.3.2	Específicos	16
1.4	Estrutura do Trabalho	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
2.1	Tratamento Endodôntico	17
2.2	Instrumentos Endodônticos	17
2.3	Tratamento Térmico	18
2.3.1	Tratamento Térmico nas ligas de NiTi	19
2.4	Falhas e Fraturas nos Instrumentos	20
2.5	Vibrações Envolvidas no Processo	21
2.6	Dinâmica de Estruturas	22
2.7	Método de Aquisição de Sinal	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>25</b>
3.1	Tipos de Pesquisa	25
3.2	Materiais e Métodos	26
3.3	Variáveis e Indicadores	30
3.4	Instrumentos de Coleta de Dados	31
3.4.1	Acelerômetro	31
3.4.2	Placa de Aquisição	31
3.5	Tabulação de Dados	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>33</b>
4.1	Medições de Vibração Livre	33
4.2	Evolução da Frequência Natural em Função do Desgaste	34
4.3	Medição da Vibração Forçada	36
4.4	Discussão	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>40</b>

5.1	Recomendações	41
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	42
	<b>APÊNDICE A</b>	45
	<b>APÊNDICE B</b>	46

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Formulação do problema

Na endodontia existem instrumentos que são dotados de grande tecnologia, como as limas endodônticas, que estão propensas a fraturarem durante a terapia de canal (POY, et al. 2018). As propriedades mecânicas de tais instrumentos vem sendo estudadas pela comunidade científica por autores como Martins (2008).

Esses instrumentos inicialmente eram feitos de aço carbono e atualmente são produzidos majoritariamente em Níquel-Titânio (NiTi), por suas vantagens em flexibilidade e resistência (HSIEH, et al. 2010). Ainda assim, tais instrumentos ao sofrerem desgaste estão sujeitos a fraturas, que constituem o maior problema da terapia endodôntica (POY, et al. 2018).

De acordo com Plotino et al. (2009) as fraturas de tais instrumentos são resultantes de dois processos: fadiga cíclica de flexão, decorrente do desgaste repetitivo, ou torção, podendo também ser uma combinação em proporções distintas destas.

Durante a terapia endodôntica o cirurgião dentista utiliza instrumentos com diferentes movimentos de corte, rotatório e recíprocante<sup>1</sup>. Para Gambarini et al. (2012) os movimentos recíprocantes sofrem menos com fraturas cíclicas. Entretanto, os resultados de Jeon et al. (2014) mostram que equipamentos com movimento recíprocante geram mais vibrações.

Portanto o trabalho será desenvolvido com o intuito de sanar a seguinte questão:

**Qual a influência do desgaste nas vibrações dos instrumentos rotatórios de NiTi com tratamento térmico?**

---

<sup>1</sup> No movimento rotatório a lima gira em um único sentido, no movimento recíprocante a motorização alterna entre horário e anti-horário.

## 1.2 Justificativa

Em decorrência do desgaste, os instrumentos endodônticos estão propensos a fraturas e conseqüentemente alojam uma parte de si no dente, como ilustra a Figura 1. Sendo o procedimento realizado uma biopulpectomia<sup>2</sup>, existe a possibilidade do tecido residual pulpar<sup>3</sup> não retirado do canal estar apenas inflamado e não infectado, o que possibilita que este possa não ser removido, porém nos casos de necropulpectomia<sup>4</sup> é provável que se tenha que retirar esse tecido cirurgicamente, já que o procedimento endodôntico tradicional não é possível devido ao instrumento alojado no interior do dente (DALLAGNOL, et al. 2013).



Figura 1: Instrumento fraturado dentro do canal radicular  
Fonte: Avilov e Laktionov, 2020

Poy *et. al.* (2018) enfatizam que as fraturas podem causar “... complicações patológicas e sistêmicas ou, em casos mais graves, até a perda do dente.”

Segundo Nayak et al. (2019) no procedimento endodôntico estão envolvidas diversas fontes de vibração. Essas vibrações podem causar, mesmo quando o procedimento é bem sucedido, desconforto ao paciente. Em certas ocasiões, pode causar rachaduras no esmalte do dente.

Portanto, procurar compreender quais as influências do desgaste nas vibrações dos instrumentos endodônticos, se torna não só uma questão econômica, mas também, humana, visto o estresse e as dificuldades que virão a ser enfrentadas pelo paciente e pelo cirurgião dentista.

---

<sup>2</sup> Procedimento de remoção de material vivo do interior do dente.

<sup>3</sup> Material do interior do dente que não foi retirado pela instrumentação.

<sup>4</sup> Procedimento de remoção de material morto ou necrosado do interior do dente.



### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

O objetivo do trabalho é analisar a correlação das vibrações e o desgaste dos instrumentos endodônticos de níquel-titânio.

#### **1.3.2 Específicos**

- Apresentar o estado da arte das pesquisas em vibrações dos instrumentos endodônticos de NiTi;
- Destacar as vibrações que influenciam nos tratamentos endodônticos;
- Medir as vibrações produzidas por instrumentos endodônticos rotatórios de NiTi com tratamento térmico em diferentes estágios de utilização e desgaste.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho será dividido nas seguintes partes: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Conclusão.

Na introdução são expostos os conceitos básicos do tema além de embasar e contextualizar a problemática abordada

Na revisão bibliográfica será feita uma revisão do estado da arte para que se possa compreender o quão desenvolvidas estão as pesquisas atuais e o que já foi defendido ou refutado.

A metodologia apresenta os métodos a serem utilizados e como foi desenvolvido o projeto.

Os resultados apresentam o que foi encontrado na metodologia confirmando ou não as hipóteses criadas na metodologia.

Na conclusão serão avaliados os resultados e será respondida a pergunta problema proposta na introdução.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Tratamento endodôntico

Poy *et. al.* (2018) define o tratamento endodôntico como “... limpeza, desinfecção e obturação do canal radicular, buscando a recuperação da estrutura tecidual”.

Por diferentes meios e causas o tecido pulpar<sup>5</sup>, contido no interior do canal radicular<sup>6</sup> pode ser acometido por diversas patologias, e, portanto, para que se preserve o dente é necessária a remoção desse tecido. A Figura 2 ilustra uma representação de um canal radicular.



Figura 2: Canais radiculares destacados em marrom  
Fonte: DENTALCORE

De acordo com Azevedo *et. al.* (2016) a abordagem moderna da medicina odontológica preconiza que se preserve a peça dentária, e que sua remoção ocorra somente em última instância. Para o referido autor preservar os dentes naturais é crucial, pois eles desempenham funções essenciais, incluindo a mastigação adequada, a manutenção da estrutura e alinhamento da arcada dentária, além de contribuírem para a estética do sorriso. Além disso, a manutenção dos dentes naturais evita a necessidade de próteses ou implantes, proporcionando benefícios funcionais e psicológicos aos pacientes.

### 2.2 Instrumentos endodônticos

Durante as diversas etapas de um tratamento endodôntico, uma das mais importantes e críticas é o preparo biomecânico, processo no qual instrumentos, representados na Figura 3, são utilizados para fazer a remoção do material pulpar contido no dente (POY *et. al.*, 2018).

<sup>5</sup> Material orgânico no interior do dente que contém as terminações nervosas.

<sup>6</sup> Espaço interno do dente que contém a polpa dentária, popularmente conhecida como raiz do dente.

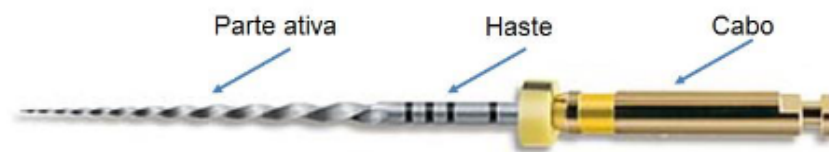


Figura 3: Lima endodôntica para utilização motorizada  
Fonte: Adaptado de Santos (2012)

Inicialmente as limas endodônticas eram produzidas com cordas de piano e posteriormente passaram a ser compostas de aço carbono. Porém o aço carbono utilizado era muito prejudicado tanto pelos processos de esterilização à vapor, quanto pela corrosão por iodo e cloro (AZEVEDO, 2016).

O avanço tecnológico envolvido nos processos endodônticos permitiu que fossem introduzidos os instrumentos compostos por aço inoxidável, visando suprimir os defeitos de suas contrapartes anteriores (AZEVEDO, 2016).

Porém os instrumentos de aço inoxidável trazem complicações ao se tratar canais radiculares mais curvilíneos, visto que podem causar degraus ou até mesmo perfurar a peça dentária, em consequência do alto módulo de elasticidade dos aços (MOREIRA, 2006).

Dentre as variadas ligas que podem ser utilizadas atualmente para confeccionar os instrumentos endodônticos, o NiTi tem destaque pela sua resistência à corrosão e biocompatibilidade. As propriedades dessa liga são resultado da transição da austenita para martensita, que ocorre devido a sua capacidade de alterar suas ligações atômicas (PARASHOS, 2006).

Outras características de extrema importância do NiTi são o efeito memória de forma (EMF), e a superelasticidade (SE). A primeira ocorre quando a liga é capaz de retornar completamente a sua forma original após ser aquecida acima de certa temperatura. A segunda se refere a um caso particular do EMF, em que a recuperação da forma pode ocorrer logo após a retirada da tensão causadora da deformação, sem necessidade de aquecimento posterior (MOREIRA, 2006).

### 2.3 Tratamento térmico

O tratamento térmico é um processo amplamente utilizado na indústria para modificar as propriedades físicas e químicas dos materiais. A literatura científica destaca

diversos métodos de tratamento térmico, como têmpera, revenimento, normalização, recozimento, entre outros. Um estudo publicado por Khan *et al.* (2021) investigou o efeito do tratamento térmico na microestrutura e nas propriedades mecânicas de materiais metálicos. Os resultados mostraram que o tratamento térmico alterou a microestrutura do material e aumentou sua resistência à tração e dureza.

Além disso, pode ser utilizado para melhorar a resistência à fadiga de materiais metálicos. Khan *et al.* (2021) investigou o efeito do tratamento térmico na resistência à fadiga de aços de alta resistência. O tratamento térmico aumentou significativamente a resistência à fadiga dos aços, o que pode ser atribuído à melhoria da microestrutura do material. Esse estudo destaca a importância do tratamento térmico na melhoria da durabilidade de materiais metálicos submetidos a cargas cíclicas.

### 2.3.1 Tratamento térmico nas ligas de niti

Visando obter as vantagens do tratamento térmico nas ligas de NiTi, diversos processos foram desenvolvidos e aplicados na indústria como CM blue e CM gold conforme ilustra a Figura 4.

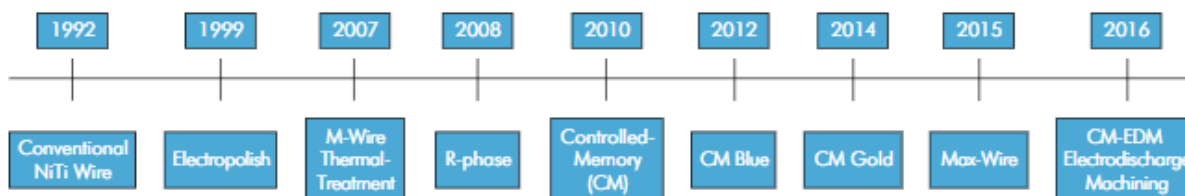


Figura 4: Evolução dos tratamentos nas ligas de NiTi  
Fonte: GAVINI, 2018

Com intenção de melhorar as características mecânicas dos instrumentos de NiTi, surge o tratamento térmico CM-Wire (memória controlada). Após a usinagem do instrumento é aplicado um ciclo de aquecimento e resfriamento que confere ao material a possibilidade de ser pré-curvado, resultado do controle da temperatura de ação do efeito de memória (GAVINI, *et al.*, 2018 apud SANTOS, *et al.*, 2020).

Segundo Gavini *et al.* (2018) devido a reorientação das variantes de martensita e sua composição de fase modificada, os instrumentos CM-Wire, tratados termomecanicamente, não apresentam características de superelasticidade, nem a temperatura ambiente, nem a

temperatura corporal, retornando ao seu formato original apenas quando aquecidas as temperaturas do processo de esterilização.

## 2.4 Falhas e fraturas nos instrumentos

Para Dallagnol *et. al.* (2013), A fratura por fadiga ocorre de forma imprevisível, sem aviso prévio. A vida útil de um instrumento endodôntico em fadiga não está relacionada ao torque aplicado, mas sim ao número de ciclos e à intensidade das tensões de tração e compressão na área flexionada do instrumento endodôntico.

No trabalho de Poy (2018), que objetivou avaliar 500 radiografias de pacientes que foram submetidos ao tratamento endodôntico, constatou-se que em cerca de 5,2% dos procedimentos ocorreu uma falha crítica dos instrumentos de NiTi, resultando na fratura dos mesmos e, conseqüentemente, em riscos para o paciente. Visto que um paciente que não obtiver uma obturação adequada, pode vir a ter o dente recontaminado.

Tal resultado é corroborado por Kerekes e Tronstad, 1979 apud Dallagnol *et. al.* (2013), que indicam uma frequência de falhas entre 2 a 6%. Tais instrumentos fraturados podem ser observados na Figura 5.

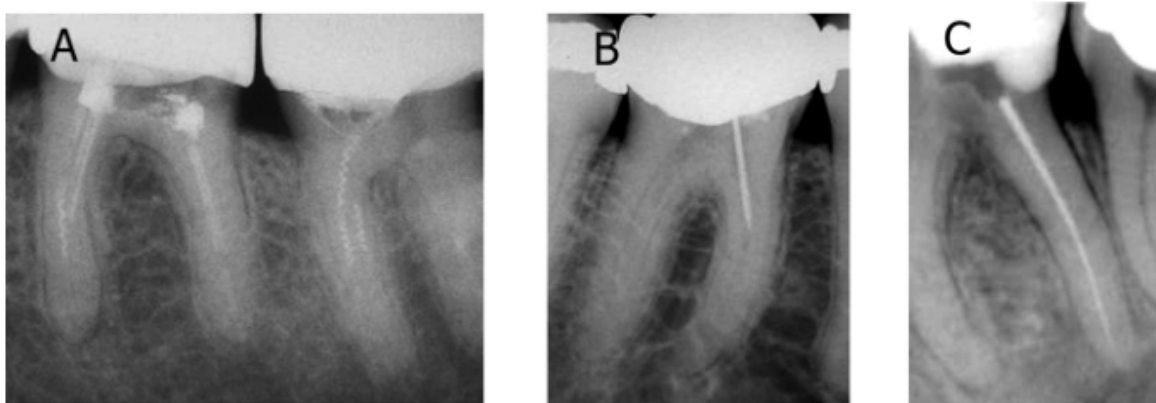


Figura 5: Radiografias de instrumentos fraturados em molares inferiores  
Fonte: PARASHOS, 2006

Uma crença comum é que os instrumentos rotatórios de NiTi se fraturam mais frequentemente que os manuais fabricados em aço. Entretanto, essa informação não é fundamentada cientificamente, já que estudos como de Parashos (2004) demonstraram uma frequência de fraturas muito menor do que os instrumentos manuais fabricados em aço.

Fraturas podem ocorrer de duas formas, frágeis ou dúcteis, que podem ser causadas por fadiga, que é caracterizada pelo esforço contínuo ou intermitente do material, gerando pontos de estresse e alterando permanentemente sua estrutura granular (PARASHOS, 2006).

Estudos que avaliaram fraturas de instrumentos rotatórios de NiTi, indicam que a fadiga levou a fraturas dúcteis dos instrumentos. Porém estudos mais recentes indicam que as fraturas podem ser causadas por um evento singular de sobrecarga, visto que em alguns casos não se observa as estriações<sup>7</sup> características da fratura por fadiga (PARASHOS, 2006).

## **2.5 Vibrações envolvidas no processo**

Segundo Rao, 2008 “...Qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo é denominado vibração ou oscilação”. Durante o processo de preparação biomecânica, quando motorizado, tanto o sistema quanto o paciente estão sujeitos a diferentes vibrações (NAYAK *et. al.*, 2019).

Para Nayak *et. al.* (2019) em um sistema, partes rotativas desequilibradas ou impactos são consideradas as principais causas de vibrações. Tais vibrações são transmitidas por todo o sistema e podem causar danos ao equipamento e influenciar em seu desempenho. Quando vinculadas ao ser humano, a transmissão das vibrações podem causar desconforto, estresse e, como nos equipamentos, uma perda de performance (RAO, 2008).

Em um sistema complexo como o da terapia endodôntica, diversos subsistemas podem gerar vibrações indesejadas. Tais subsistemas estão também sujeitos a vibrações transmitidas a eles. O motor endodôntico em conjunção com o contra-ângulo contém em si diversas partes como rotor, eixo de motor, eixo de transmissão, engrenagens e a lima. Qualquer desbalanceamento de uma dessas partes tende a gerar vibrações na frequência de rotação, bem como nas frequências harmônicas (NAYAK *et. al.*, 2019).

O estudo de Choi (2017) visa comparar as vibrações transmitidas ao dente por dois tipos de movimentos motorizados utilizados na endodontia: rotatório contínuo e reciprocante.

Foram utilizados blocos de resina com canais em formato de “J” e diversos modelos de limas de NiTi. As vibrações do sistema foram medidas por acelerômetros posicionados em posições fixas e predeterminadas, como representado na Figura 6.

---

<sup>7</sup> Marcas formadas na superfície de fratura durante a propagação de uma trinca, são indicativas de uma fratura ocorrida por fadiga.

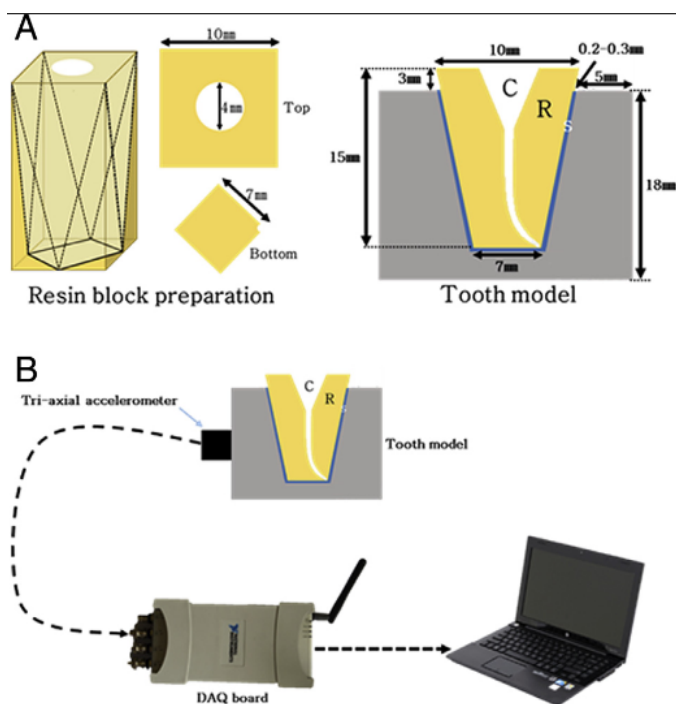


Figura 6: Bancada para análise das vibrações  
Fonte: CHOI, 2017

As medições indicaram que sistemas de movimento recíprocante tendem a gerar mais vibrações que sistemas de rotação contínua. Outra conclusão possível do estudo é que o modelo de motor utilizado também tem grande influência nas vibrações geradas (CHOI, 2017).

## 2.6 Dinâmica de estruturas

A dinâmica de estruturas se difere de problemas estáticos primordialmente em dois pontos, primeiramente na dinâmica temos uma variação da carga, posição ou intensidade com o tempo, secundamente a aceleração e conseqüentemente a inércia, em situações dinâmicas, é responsável por distribuir a carga, como disposto na Figura 7 (CRAIG e KURDILA, 2006).

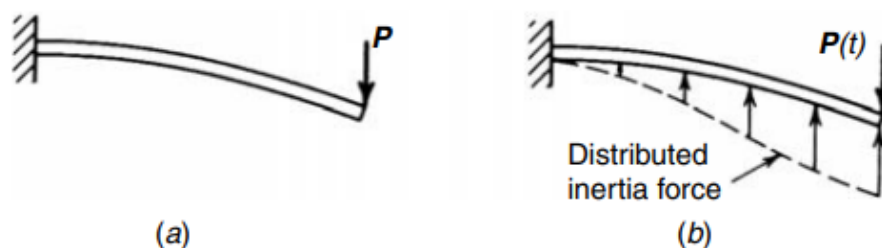


Figura 7: Viga em balanço carregamento estático (a) carregamento dinâmico (b)  
Fonte: Craig e Kurdila (2006)

Para que seja possível analisar um sistema dinamicamente carregado são necessários três passos principais: Definir o modelo analítico, caracterizar o modelo matemático e desenvolver e resolver o modelo para a obtenção da resposta dinâmica do sistema (CRAIG e KURDILA, 2006).

A definição do modelo analítico é diretamente ligada a quantidade de graus de liberdade que o sistema possui. Sendo graus de liberdade a quantidade de coordenadas em que o objeto estudado pode se mover. Quando infinitos, o sistema deverá ser analisado de forma contínua, e quando há uma quantidade contabilizável e finita, de forma discreta (RAO, 2008).

Segundo Craig e Kurdila (2006, p.7) a caracterização dos modelos matemáticos se dá, basicamente, por meio de equações diferenciais que quando em conjunto representam de forma precisa o provável comportamento de determinado sistema.

A resolução dos modelos matemáticos produzidos, deve objetivar principalmente a vibração livre e a força (CRAIG e KURDILA, 2006).

Vibração livre é caracterizada pela aplicação determinadas condições iniciais ao sistema e o comportamento do mesmo sem interferências posteriores, Já a vibração forçada descreve a situação em que carregamentos e forças são aplicadas continuamente sobre o sistema (RAO, 2008).

## **2.7 Método de aquisição de sinal**

A configuração experimental adotada para a medição de vibrações é considerada simples, conforme mencionado por EWINS (2000). Geralmente o conjunto é composto por um Sensor/Transdutor, responsável por captar grandeza a ser medida, um Condicionador/Processador, que realiza a conversão analógico-digital, e um mostrador, que apresenta ao usuário um valor legível por meio de registradores analógicos ou digitais.

Um sensor ou transdutor tem a função de transformar um fenômeno físico em um sinal elétrico mensurável. O tipo de sensor determinará a característica elétrica de saída, que pode ser uma variação de tensão, corrente, resistência, capacitância ou outro atributo elétrico ao longo do tempo (GUIMARÃES, 2017 *apud* DUARTE, 2018).

Segundo Guimarães, 2017 *apud* Duarte (2018) um sistema de aquisição dinâmica pode ser montado como exemplificado na Figura 8.



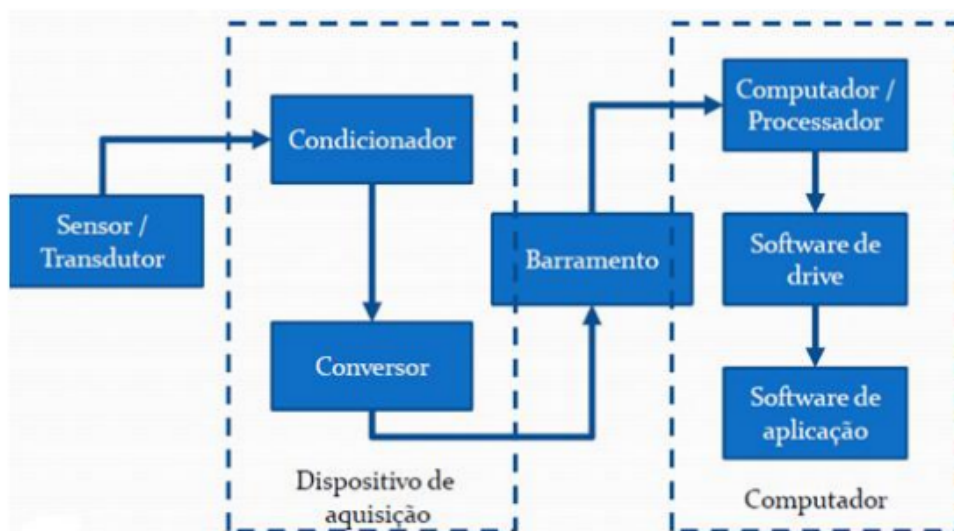


Figura 8: Esquema de montagem para aquisição de sinal.  
Fonte: Guimarães, 2017 *apud* Duarte, 2018

Além dos componentes típicos de um sistema de medição genérico, como o sensor, o condicionador e o conversor, há também o barramento, que funciona como uma interface de comunicação entre o dispositivo de aquisição e o computador. O computador desempenha o papel de controlar a operação do dispositivo de aquisição, bem como os softwares de driver e aplicação (GUIMARÃES, 2017 *apud* DUARTE, 2018).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Tipos de pesquisa**

A metodologia não se resume a apenas uma metrologia dos dados ou a tecnologia de medida. É na verdade, uma lógica dos procedimentos a serem seguidos, tanto em sua gênese quanto em seu desenvolvimento (BRUYNE, 1991).

É possível classificar a pesquisa em 3 parâmetros, tipos de abordagem, objetivos e procedimentos.

Quanto ao tipo de abordagem a pesquisa pode se enquadrar como quantitativa ou qualitativa. Segundo Silva, (2000, p.20) a pesquisa quantitativa considera que tudo é quantificável e tenta traduzir em números o mundo ao nosso redor. Já a “pesquisa qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números” (SILVA, 2000).

Quanto aos objetivos, Gil, 1991, determina que as pesquisas estão divididas em exploratória, descritiva e explicativa. Em suma, a exploratória tem como objetivo trazer mais familiaridade com a problemática, e expô-la de forma ampla. A descritiva intenciona descrever as características de determinado problema, população ou relação entre variáveis. A explicativa por fim, visa elucidar os meios e condições para que ocorra certo fato, e de certa forma, explica o "porquê" das coisas.

Da ótica dos procedimentos técnicos temos que um trabalho científico pode ser uma pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, levantamento, estudo de caso e pesquisa *ex-post-facto* (GIL, 1991).

Essa pesquisa pode ser classificada como quantitativa, visto que, pretende realizar medições e computar valores numéricos. Do ponto de vista dos objetivos, é exploratória, já que visa, por meio de ensaios laboratoriais, elucidar quanto às frequências atuantes nos sistemas endodônticos de NiTi com e sem tratamento superficial. Os procedimentos técnicos envolvidos são em sua maioria de caráter experimental.

### 3.2 Materiais e métodos

O método, como definido por Lakato e Marconi (2003), é o caminho a ser percorrido em busca de conhecimentos válidos e verdadeiros. Esse caminho é formado por diversas atividades sistemáticas e racionais, que em suma, guiam o pesquisador de forma segura.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos por meio de um acelerômetro estrategicamente fixado ao contra-ângulo, como representado na Figura 9.



Figura 9: Fixação do acelerômetro no contra-ângulo  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

A fixação cuidadosa do acelerômetro ao contra-ângulo garantiu que as medições fossem precisas e representativas do comportamento dinâmico do instrumento durante os diferentes cenários de teste. Para isso foi feita a limpeza do local com álcool a fim de retirar qualquer impureza que pudesse reduzir a aderência da cera.

As medições feitas são enviadas ao *software* LabView. Foram medidas as frequências naturais das limas durante 6 ciclos de utilização ou caso se atingisse o momento da falha, seja essa falha uma fratura completa, ou a deformação permanente severa, como a reversão. Segundo a fabricante das limas HyFlex CM, tal evento obrigaria o descarte imediato da ferramenta. Concomitantemente, foi feita a medição da vibração forçada durante a simulação do preparo do canal radicular.

A lima utilizada foi a 04/25 do conjunto HyFlex CM da fabricante Coltene como pode ser observado na Figura 10. Tal lima foi escolhida por ter o tamanho e *taper*<sup>8</sup> mais comumente utilizados nos procedimentos de preparo do canal radicular.

---

<sup>8</sup> Conicidade do instrumento.



Figura 10: Lima Hyflex CM 04/25  
Fonte: HENRY SCHEIN

O procedimento adotado foi seguido rigorosamente, a fim de que a qualidade da metodologia pudesse ser garantida e não incluísse nenhuma variável não considerada previamente. Pode-se detalhar o procedimento em um diagrama com cada uma das etapas, representado pela Figura 11.

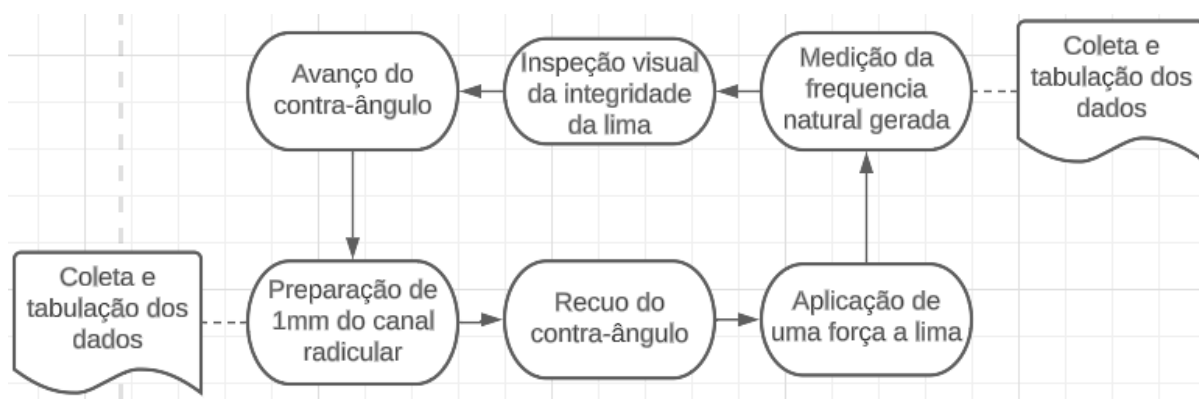


Figura 11: Procedimento de medição e desgaste da lima  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

Utilizou-se um torno para fixar todo o experimento, visto suas características de estabilidade, rigidez e precisão. Ao fixar o experimento no torno foi possível assegurar que o instrumento endodôntico, o contra-ângulo e o acelerômetro estivessem devidamente posicionados e imobilizados durante as medições. Essa fixação garante que o sistema permaneça estável durante todo o processo, minimizando a ocorrência de vibrações indesejadas que poderiam interferir nos resultados.

A rigidez do torno é outro fator crucial, pois evita qualquer movimentação indesejada dos componentes do experimento, proporcionando uma base sólida e confiável para as medições.

Para que se obtivesse a aplicação da força de forma mais constante e que não acarretasse em mais variáveis, foi afixado uma lâmina de estilete ao cabeçote do torno como na Figura 12.

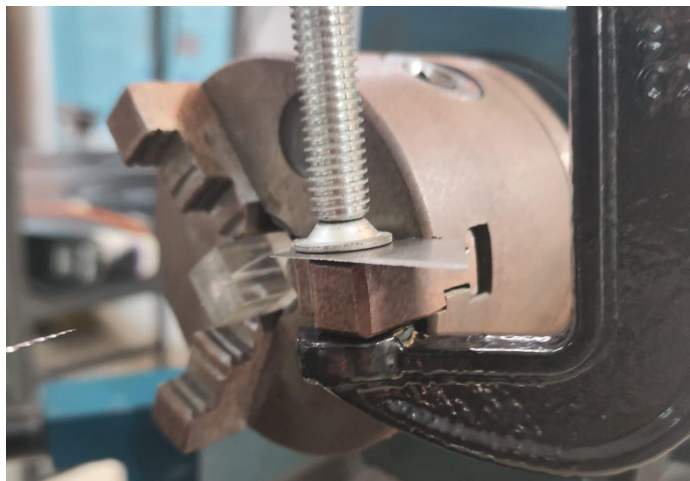


Figura 12: Fixação da lâmina para aplicação da força  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

Após o posicionamento da lima diretamente abaixo desta lâmina rotaciona-se o cabeçote manualmente, aplicando a força ao instrumento endodôntico, perpendicularmente ao acelerômetro.

Um bloco de resina acrílica foi fixado no cabeçote fixo do torno, representado na Figura 13.



Figura 13: Fixação do bloco de resina acrílica  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

O contra-ângulo foi fixado à torre de ferramentas, com o auxílio de duas abraçadeiras de metal e um polímero emborrachado de EVA, como demonstrado pela Figura

14, visto que a geometria complexa do contra-ângulo necessita de um material que se conforme ao seu perfil, permitindo uma maior rigidez e mais pontos de contato com a torre de ferramentas.

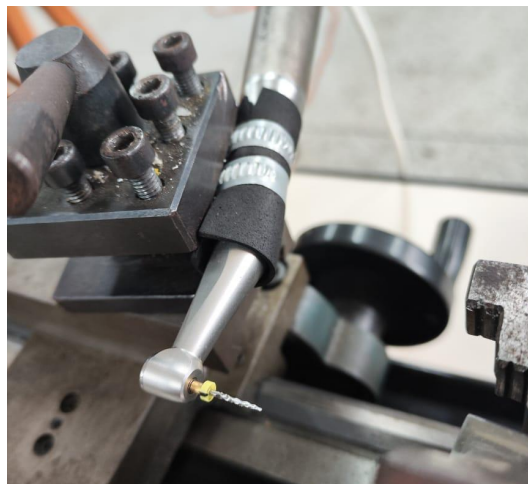


Figura 14: Fixação do contra-ângulo  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

Os blocos de resina acrílica utilizados foram os blocos de treinamento da fabricante Easy, dispostos na Figura 15, visto a facilidade de obtenção e a constância entre os blocos que o processo industrial permite.



Figura 15: Blocos acrílicos Easy  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

O sistema de motorização empregado foi o VDW SILVER RECIPROC, equipado com o contra-ângulo 6:1 da também da VDW representado na Figura 16.



Figura 16: VDW SILVER RECIPROC  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

Os dados coletados foram enviados a uma planilha na qual foram correlacionados com o estágio de uso e desgaste dos instrumentos.

### 3.3 Variáveis e indicadores

De acordo com Gil *apud* Teixeira (2016, p. 44), uma variável é qualquer elemento que pode ser classificado em duas ou mais categorias distintas. Ela representa uma medida ou classificação, uma quantidade que apresenta variações e está associada a um conceito operacional específico. Uma variável pode conter valores, propriedades, aspectos ou fatores, e é identificada em um objeto de estudo, sendo passível de verificação.

A tabela 1 define as variáveis presentes no estudo e seus respectivos indicadores.

Tabela 1: Variáveis e Indicadores

VARIÁVEIS	INDICADORES
Frequência Natural	Geometria da lima
	Tratamento térmico
	Fixação e rigidez
Vibração (aceleração)	Amplitude
	Frequência

Fonte: Pesquisa direta (2023)

### 3.4 Instrumentos de coleta de dados

#### 3.4.1 Acelerômetro

Para os ensaios, o acelerômetro utilizado é o modelo 352C33, fabricado pela PCB Piezotronics INC, de sensibilidade: ( $\pm 10\%$ ) 100 mV / g ( $10,2 \text{ mV} / (\text{m} / \text{s}^2)$ ) e faixa de frequência de ( $\pm 5\%$ ) 0,5 a 10000 Hz. Para fixação no contra-ângulo, aplica-se a cera (WAX). Ambos estão representados na Figura 17.



Figura 17: À direita o acelerômetro e a esquerda a cera.

Fonte: PCB Piezotronics INC, 2023

#### 3.4.2 Placa de Aquisição

O sinal captado pelo acelerômetro é enviado a uma placa de aquisição da National Instruments modelo NI 9234 USB, com 4 canais representada pela Figura 18.



Figura 18: Placa de aquisição da National Instruments

Fonte: National Instruments, 2023

O dispositivo é a interface entre os sinais obtidos e o computador, convertendo um sinal analógico advindo do acelerômetro em um sinal digital que posteriormente pode ser interpretado pelo *software*.



Existem três elementos-chave em um dispositivo de aquisição de dados (DAQ) para a medição de um sinal: os circuitos eletrônicos responsáveis pelo condicionamento de sinais, o conversor analógico-digital (ADC) e a interface de comunicação com o computador.

### 3.5 Tabulação de dados

Durante a etapa de tabulação dos dados obtidos para a pesquisa, foi utilizado o software Excel, que possibilitou a criação das tabelas que posteriormente foram processadas pelo código em SCILab.

Para processar os dados provenientes da placa de aquisição e viabilizar sua gravação, empregou-se o software LabVIEW, conforme ilustrado na Figura 19. O LabVIEW é uma plataforma de programação visual amplamente empregada em aplicações de aquisição e processamento de dados, bem como em controle e monitoramento de sistemas. Por meio desse software, foi possível extrair, analisar e armazenar os dados obtidos durante as medições, assegurando uma abordagem confiável e precisa para a análise dos resultados.

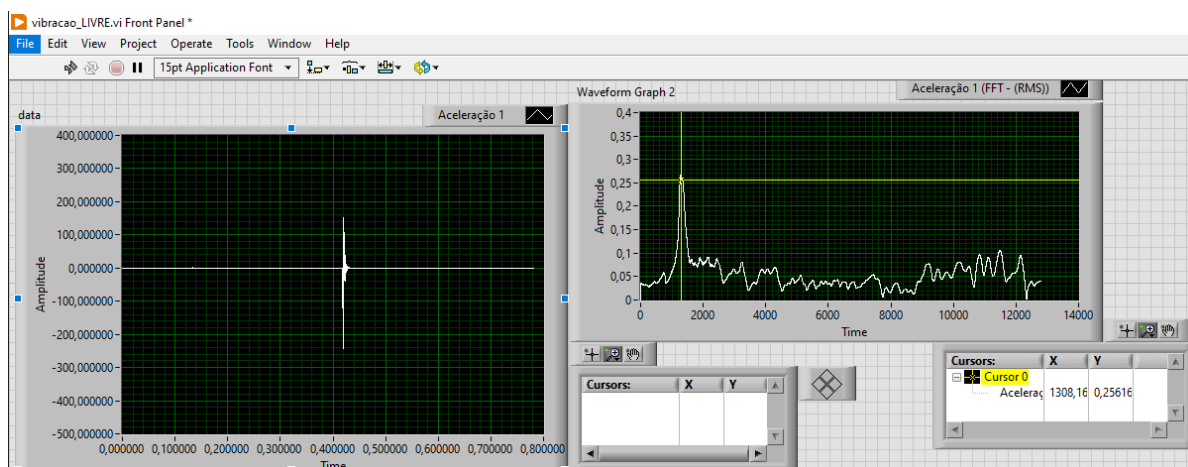


Figura 19: *Front Painel* do Labview para vibrações livres  
Fonte: Pesquisa Direta, 2023

Com um programa desenvolvido na linguagem SciLab, apresentado neste trabalho no apêndice A, foram feitas as plotagens de gráficos de sinal. Os cálculos necessários para a obtenção dos espectros de frequência são processados no código descrito no apêndice B.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Medições de vibração livre

Entre os ciclos de desgaste e utilização do sistema em análise, foram realizadas medições de vibração livre, capturando dados precisos de tempo e amplitude em cada uma das ocasiões. Essas medições desempenham um papel fundamental, pois fornecem informações valiosas sobre as características vibratórias do sistema ao longo do tempo.

Com base nos dados de vibração livre coletados, tornou-se possível gerar gráficos detalhados do sinal em cada ciclo. Esses gráficos são representações visuais do comportamento vibratório do sistema, permitindo-nos observar possíveis variações e padrões ao longo dos diferentes ciclos de desgaste e utilização.

A Figura 20 é representativa do sinal medido durante o primeiro ciclo de utilização. Esse gráfico específico possibilita visualizar as características vibratórias iniciais do sistema e constitui um ponto de referência crucial para comparar e analisar os demais ciclos.

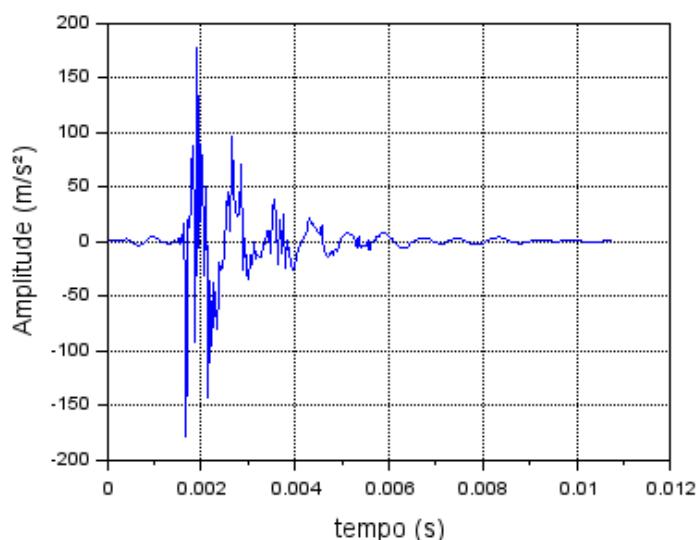


Figura 20: Sinal obtido na medição de vibração livre no primeiro ciclo  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

Observa-se na Figura 20 um comportamento característico de vibração livre que demonstra que não ocorreu a saturação do acelerômetro, possibilitando assim que os dados coletados possam ser utilizados nos procedimentos seguintes.

Através da aplicação da Transformada de Fourier aos dados de vibração livre conseguimos obter o espectro de frequências presente no sistema, representada na Figura 21.

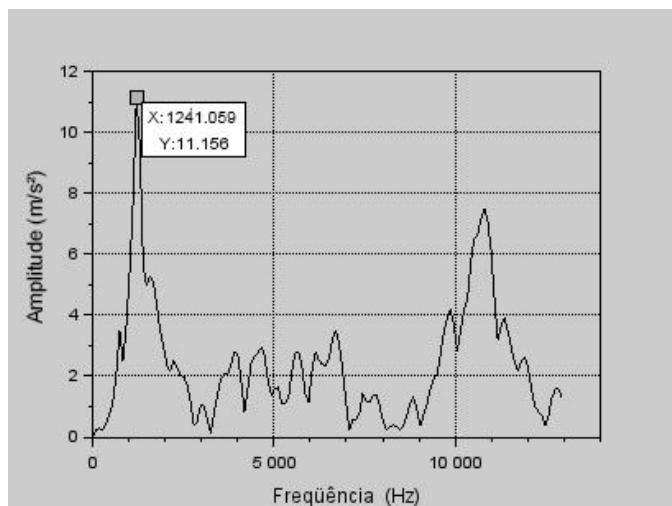


Figura 21: Espectro obtido na medição de vibração livre no primeiro ciclo  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

Essa análise espectral é de suma importância para compreender as frequências naturais e modos de vibração predominantes no sistema, fornecendo informações valiosas sobre sua resposta dinâmica.

#### 4.2 Evolução da frequência natural em função do desgaste

Com a finalização dos 6 ciclos de medição é possível exibir os espectros obtidos em um mesmo gráfico, a fim de visualizar a evolução das frequências naturais da lima como na Figura 22.

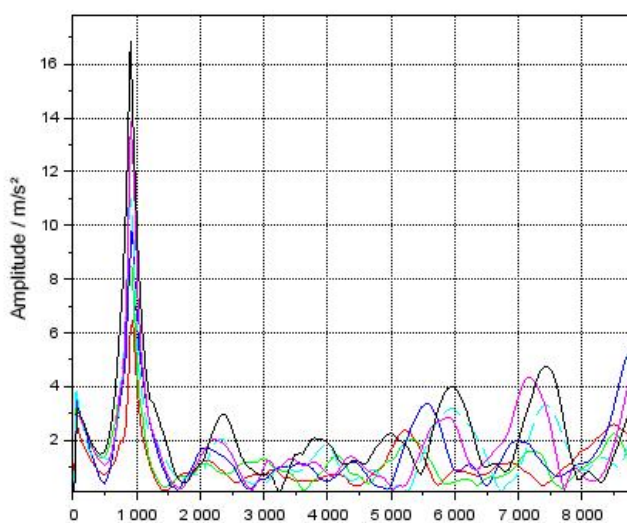


Figura 22: Espectro obtido da medição das vibrações livres  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

No espectro de frequências é possível observar uma frequência próxima de 1200 Hz que se repete entre os ciclos. A presença desse pico de frequência sugere que a lima possui uma ressonância natural nessa faixa específica, com essa observação podemos acompanhar a evolução deste pico de frequência entre os diversos ciclos na Figura 23.

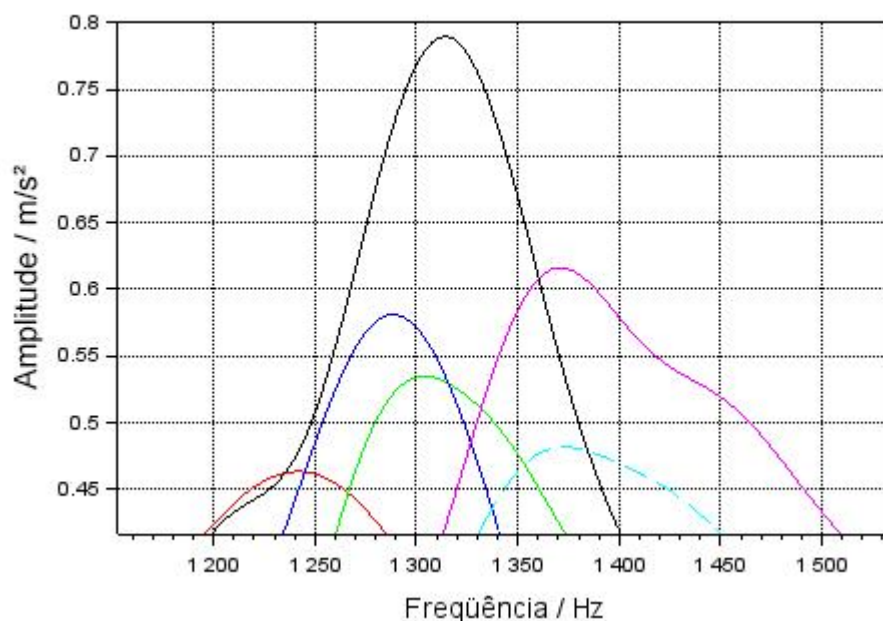


Figura 23: Detalhe do espectro obtido da medição das vibrações livres  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

Visto que a aplicação da força para a medição não foi constante entre os ciclos, as amplitudes máximas de cada ciclo são diferentes. A frequência natural de cada medição pode ser obtida ao observar a frequência correspondente a máxima amplitude de cada ciclo, resultando nos seguintes valores: 1241.059 Hz, 1303.977 Hz, 1289.492 Hz, 1372.992 Hz, 1370.77 Hz e 1314.936 Hz. Esses dados foram essenciais para a análise do comportamento do instrumento ao longo do tempo.

A análise dos resultados revelou uma tendência: a frequência natural do instrumento apresentou um aumento significativo ao longo dos ciclos de utilização. Esse achado sugere que o desgaste do instrumento está intimamente relacionado ao comportamento vibratório e, conseqüentemente, à variação da sua frequência natural.

A Figura 24, que acompanha esta análise, fornece uma representação visual esclarecedora dos ciclos de utilização e da correlação com a frequência natural. Nota-se que,

à medida que o instrumento é submetido a múltiplos ciclos, a frequência natural aumenta progressivamente, apontando para uma possível influência do desgaste acumulado.

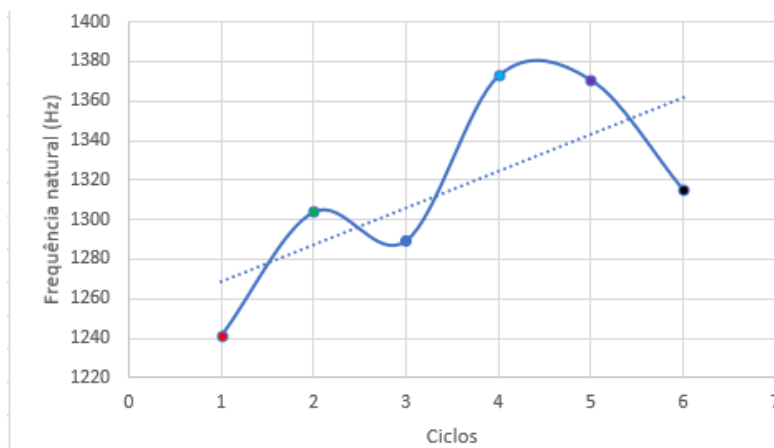


Figura 24: Frequências naturais em função dos ciclos  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

### 4.3 Medição da vibração forçada

Durante os testes também foi medida a resposta a vibração forçada durante a simulação de preparo de um canal radicular. Tal simulação causa o desgaste do instrumento endodôntico e altera sua frequência natural. A avaliação da resposta à vibração forçada permitiu uma compreensão mais aprofundada do comportamento do instrumento endodôntico em condições simuladas de uso clínico.

O sinal obtido pela medição da vibração forçada pode ser observado na Figura 25.

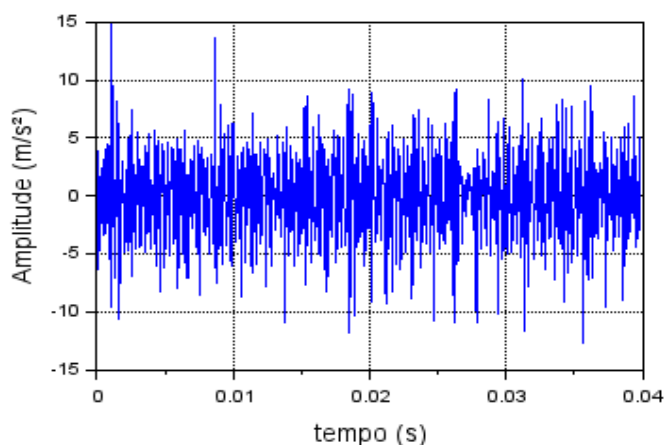


Figura 25: Sinal da medição de vibração forçada  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

As furações dos blocos de acrílico foram feitas a 800 rotações por minuto, em cada ciclo fazia-se um preparo de 1mm do canal pré-furado do bloco, mantendo o avanço do contra-ângulo o mais constante possível.

Ao aplicar a Transformada de Fourier ao sinal de vibração forçada, obtemos o espectro de frequências presente no sistema, conforme ilustrado na Figura 26.

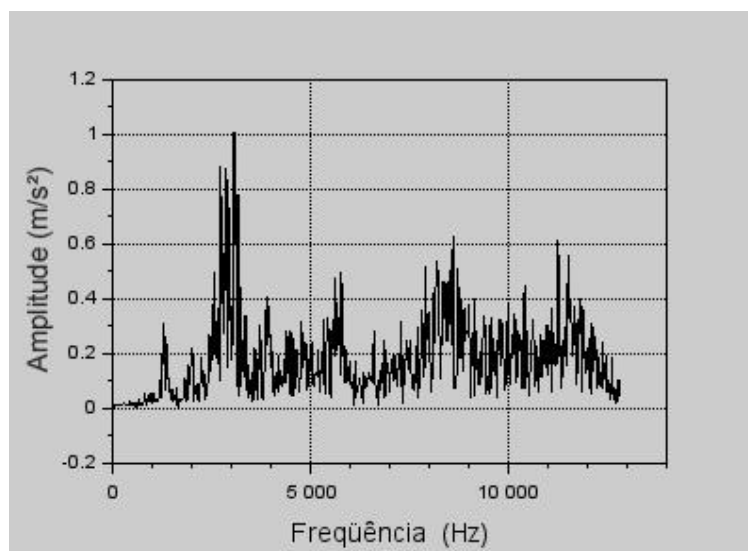


Figura 26: Espectro da medição de vibração forçada  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

O espectro de frequência revela as diferentes frequências que compõem o sinal de vibração forçada durante o processo de preparo do bloco de resina. Cada pico ou componente no espectro representa uma frequência específica que contribui para a resposta vibratória do sistema.

Repetindo o procedimento de análise dos dados, obtêm-se os espectros de cada uma das furações feitas durante a simulação de um procedimento endodôntico.

Nas Figuras 27, 28 e 29, após processar os sinais dos ciclos de vibração forçada, podemos comparar os espectros de frequência gerados em diferentes estágios de desgaste do instrumento endodôntico.

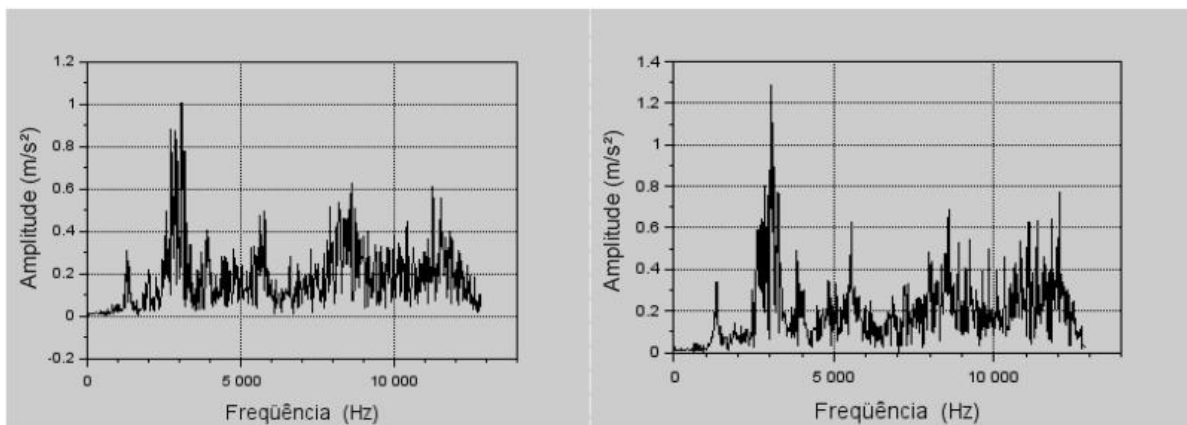


Figura 27: Espectro de vibração forçada (ciclo 1 a esquerda e ciclo 2 a direita)  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

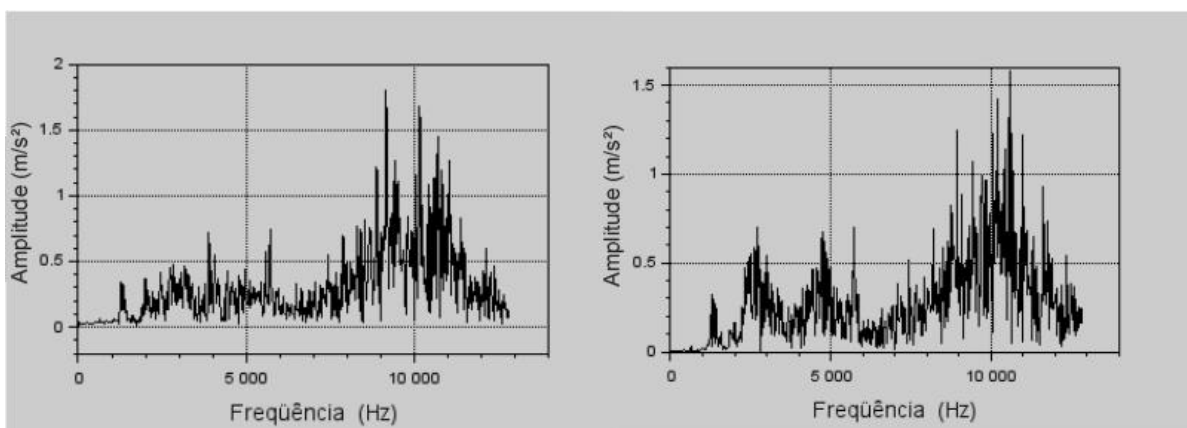


Figura 28: Espectro de vibração forçada (ciclo 3 a esquerda e ciclo 4 a direita)  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

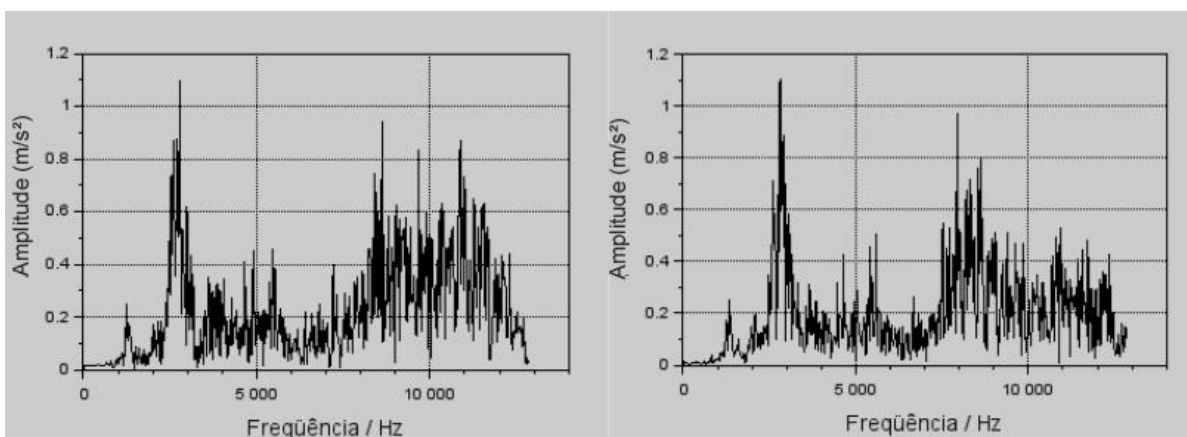


Figura 29: Espectro de vibração forçada (ciclo 5 a esquerda e ciclo 6 a direita)  
Fonte: Pesquisa direta, 2023

#### 4.4 Discussão

A tendência observada na maioria dos materiais é de uma queda na frequência natural de acordo com o aumento do desgaste, porém nos testes essa tendência se mostrou de aumento. Tal tendência pode estar vinculada ao efeito de memória de forma do material.

Mesmo com a tendência de aumento, seria possível mapear essas frequências e avaliar a vida útil de uma ferramenta baseada em tais dados. Essa previsão da vida útil e da quantidade segura de utilizações restantes pode mitigar as constantes falhas imprevisíveis que ocorrem durante os procedimentos.

Foi observado também uma variação nessa tendência de aumento tornando-a de certa forma irregular. É possível que essa variação da frequência natural também esteja vinculada ao efeito de memória de forma do NiTi. Durante o processo de preparo do canal o instrumento endodôntico está submetido a esforços que geram calor, se esse calor gerado ultrapassar a temperatura da transformação martensítica do NiTi com tratamento térmico CM, o material iria retornar a suas características iniciais, reduzindo a frequência natural. Caso essa temperatura não seja atingida, o material mantém sua tendência de aumento da frequência natural em decorrência do desgaste.

Visto que o canal pré-furado do bloco de resina é curvo, podemos crer que mesmo mantendo uma profundidade de preparo constante entre os ciclos, os esforços da lima seriam diferentes em diferentes ciclos. Essa diferença pode levar a lima a atingir ou não sua transformação martensítica, explicando assim as variações inesperadas nas frequências naturais.

Ao avaliar os gráficos de espectro da vibração forçada, observamos uma mudança clara entre os ciclos 2 e 3, uma frequência de alta amplitude em torno dos 3.000hz que aparecia diminuir, e passam a aparecer mais frequências próximas de 10.000hz. Tal evento pode também estar vinculado às propriedades de memória de forma do material, visto que, os parâmetros de medição e preparo do canal não foram alterados.



## 5 CONCLUSÃO

Com base na metodologia proposta no presente trabalho, podemos afirmar que existe uma influência direta do desgaste nas vibrações dos instrumentos endodônticos de NiTi com tratamento térmico. Durante a realização dos experimentos, observamos uma tendência de aumento na frequência natural à medida que o desgaste do instrumento aumentava. Essa observação é de extrema relevância, uma vez que permite estabelecer uma correlação confiável entre o desgaste e as frequências naturais, fornecendo assim um método de análise eficaz para a determinação da vida útil da ferramenta.

A capacidade de avaliar as vibrações dos instrumentos em um ambiente controlado permite que se compreenda características isoladas de um procedimento endodôntico real, possibilitando uma abordagem científica em um sistema complexo.

A repetibilidade dos experimentos e a precisão dos resultados obtidos comprovam a funcionalidade e a importância da metodologia desenvolvida. Essa abordagem nos possibilita eliminar as diversas variáveis presentes no processo, como o amortecimento advindo da utilização manual do equipamento, garantindo assim uma análise mais assertiva do fenômeno em estudo. Ao utilizar essa metodologia, os profissionais da área poderão ter uma compreensão mais precisa e abrangente dos fatores que influenciam a vida útil dos instrumentos endodônticos de NiTi com tratamento térmico.

Além disso, os resultados obtidos por meio dessa metodologia poderão subsidiar o desenvolvimento de estratégias de manutenção e substituição desses instrumentos, proporcionando uma maior eficiência e segurança nos procedimentos endodônticos. Dessa forma, a presente pesquisa contribui significativamente para o avanço da área, ao fornecer conhecimentos sólidos e embasados cientificamente que podem ser aplicados no dia a dia dos profissionais.

Em suma, os resultados alcançados por meio deste estudo confirmam a existência de uma relação direta entre o desgaste e as vibrações dos instrumentos endodônticos de NiTi com tratamento térmico. A metodologia desenvolvida demonstrou-se funcional e fundamental para uma análise precisa e livre de interferências. Espera-se que os resultados e contribuições deste trabalho incentivem pesquisas futuras e auxiliem os profissionais na otimização de suas práticas clínicas, levando a avanços significativos no campo da endodontia

## 5.1 Recomendações

É importante ressaltar que existem possibilidades de aprimoramentos futuros para a metodologia, como a realização de estudos adicionais para a validação dos resultados obtidos, a fim de garantir sua robustez e aplicabilidade em diferentes contextos clínicos. Também é recomendado investigar a influência de outros fatores no desgaste dos instrumentos, a fim de obter uma compreensão mais completa desse fenômeno

Para que pudesse ser feito uma comparação direta entre o desgaste e o tratamento térmico, se faz necessário pesquisas posteriores que reproduzam a metodologia avaliando limas sem tratamento térmico, a fim de expor a correlação entre a evolução das frequências e os tratamentos.

Recomenda-se também, a aplicação de variadas forças e profundidades durante a medição a fim de compreender o comportamento dos instrumentos quando expostos a utilizações mais complexas.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AVILOV, A. V.; LAKTIONOV, E. V. Research Methodology of Amplitude-Frequency Characteristics of Dental (Endodontic) Files. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020. p. 012026.

AZEVEDO, Rodrigo Machado Polónia. Remoção de instrumentos fraturados em Endodontia. 2016. Tese de Doutorado.

BRUYNE, Paul et al. Metodologia e prática da pesquisa em ciências sociais. **Dinâmica da pesquisa em ciências sociais: os pólos da prática metodológica**. Rio de Janeiro F. Alves, p. 09-38, 1991.

CHOI, Dong-Min et al. Vibrations generated by several nickel-titanium endodontic file systems during canal shaping in an ex vivo model. **Journal of endodontics**, v. 43, n. 7, p. 1197-1200, 2017.

CRAIG, R. R.; KURDILA, A. J. Fundamentals of structural dynamics. 2<sup>a</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc., 2006

DALLAGNOL, P. T.; VOLPATTO, I.; HARTMANN, M. Fratura de um instrumento endodôntico no canal radicular de um molar inferior esquerdo-relato de caso. **Anais da VI Mostra de Iniciação Científica**. IMED, 2013.

DE ARRUDA SANTOS, Leandro et al. Comportamento mecânico de instrumentos endodônticos de Ni-Ti M-Wire e ni-ti convencional através de simulação pelo método dos elementos finitos. 2012.

DUARTE, Wallacy Rodrigues. Avaliação do incremento de medições na estimação de parâmetros modais para análise do diagrama de estabilidade no processo de fresamento. 2018.

EWINS, D. J. MODAL TESTING. 2<sup>a</sup>. ED. HERTFORDSHIRE: RESEARCH STUDIES PRESS LTD., 2000.

ENDODONTIA: O QUE É E QUAIS OS TRATAMENTOS - DENTALCORE. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.DENTALCORE.PT/ENDODONTIA/](https://www.dentalcore.pt/endodontia/)>. ACESSO EM: 27 JUL. 2023

GAMBARINI, G. et al. Cyclic fatigue analysis of twisted file rotary NiTi instruments used in reciprocating motion. **International endodontic journal**, v. 45, n. 9, p. 802-806, 2012.

GAVINI, Giulio et al. Nickel–titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. **Brazilian oral research**, v. 32, p. e67, 2018.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002

HSIEH, Sung-Chih et al. Non-destructive natural frequency tests of cyclic fatigue-loaded nickel–titanium rotary instruments. **Medical & biological engineering & computing**, v. 48, n. 6, p. 555-560, 2010.

HyFlex NiTi files CM .04/25 Length 31mm pack of 6. Disponível em: <<https://henryschein.com.au/endodontics/rotary-files/hyflex-niti-files-cm-04-25-length-31mm-pack-of-6>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

JEON, Yeong-Ju et al. Vibration characteristics of endodontic motors with different motion: reciprocation and conventional rotation. **The Journal of the Korean dental association**, v. 52, n. 12, p. 734-743, 2014.

KHAN, Mahmud; DEWAN, Mohammad Washim; SARKAR, Md Zahidul. Effects of welding technique, filler metal and post-weld heat treatment on stainless steel and mild steel dissimilar welding joint. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 64, p. 1307-1321, 2021.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed.-São Paulo: Atlas, 2003.

MOREIRA, Edson Jorge Lima. Análise da fratura de instrumentos endodônticos de NiTi. **Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia**, 2006.

NAYAK, Ankit et al. Force and vibration generated in apical direction by three endodontic files of different kinematics during simulated canal preparation: An in vitro analytical study. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine**, v. 233, n. 8, p. 839-848, 2019.

PARASHOS, Peter; MESSER, Harold H. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. **Journal of endodontics**, v. 32, n. 11, p. 1031-1043, 2006.

PLOTINO, Gianluca et al. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. **Journal of endodontics**, v. 35, n. 11, p. 1469-1476, 2009.

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.

RAO, S. **Vibrações Mecânicas**. 4ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

MARTINS, Renata de Castro. Características físicas, estruturais e mecânicas de instrumentos endodônticos de NiTi ProTaper. 2008.

SILVA, C. R. O.; MOURA, Epitácio Macário. Metodologia do trabalho científico. **Fortaleza: Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará**, 2004.

## APÊNDICE A - CÓDIGO EM SCILAB PARA A PLOTAGEM DOS SINAIS

```
0001 clear;clc
0002
0003 //Apuração dos dados da planilha
0004
0005 sheets=readxls("C:\Users\eduar\Desktop\TCC_Eduardo_Siervi\waterfall\furação 1 espectro.xls") //
    COPIAR COMO CAMINHO
0006 s1=sheets(1)
0007 y=s1.value
0008 //y1=y(:,2)
0009 t=y(:,1) // tempo da apuração em (s)
0010 f=y(:,2) // Dados da apuração (m/s2)
0011
0012 //gráfico de tempo e posição
0013
0014 plot(t,f,'b')
0015 xgrid
0016 ylabel('Amplitude (m/s2)')
0017 xlabel('tempo (s)')
```

## APÊNDICE B - CÓDIGO EM SCILAB PARA A PLOTAGEM DOS ESPECTROS

```

0001 //Apuração dos dados da planilha      1
0002
0003 sheets=readxls("TCC_Eduardo_Siervi\Step6_800RPM_furacao.xls") // COPIAR COMO CAMINHO!!!
0004 s1=sheets(1)
0005 y=s1.value
0006 //y1=y(:,2)
0007 t=y(:,3) // tempo da apuração em (s)
0008 f=y(:,2) // Dados da apuração (m/s²)
0009
0010 // Calculo dos coeficientes da serie de Fourier 1
0011
0012 N=length(t);
0013 nhmax=floor(N/2)+1;
0014 T=t(N);
0015
0016 a0=(2/N)*sum(f);
0017 an=zeros(1,nhmax);
0018 bn=zeros(1,nhmax);
0019
0020 for j=1:nhmax
0021     for i=1:N
0022         an(j)=an(j)+f(i)*cos(2*pi*j*t(i)/T);
0023         bn(j)=bn(j)+f(i)*sin(2*pi*j*t(i)/T);
0024     end
0025 end
0026 an=(2/N)*an;
0027 bn=(2/N)*bn;
0028
0029 // Espectro de frequência
0030
0031 aux=[0:nhmax];
0032 Wv=aux*(2*pi)/T;
0033 Fv=Wv/(2*pi);
0034 A=sqrt(an.^2+bn.^2)
0035 d=[a0/2 A];
0036
0037 figure
0038 plot(Fv,d,'k');
0039 xgrid;
0040 xlabel('Frequência / Hz');
0041 ylabel('Amplitude / m');

```