



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

SILVANA JÉSSICA CARLOS DA SILVA

**AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL E MICROQUÍMICA DE LIMAS
RECIPROC APÓS SEREM SUBMETIDAS A DIFERENTES CICLOS DE
USO PARA PREPAROS EM MOLARES INFERIORES: UM ESTUDO
EX VIVO.**

SOBRAL - CE
2025

SILVANA JÉSSICA CARLOS DA SILVA

AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL E MICROQUÍMICA DE LIMAS RECÍPROCAS
APÓS SEREM SUBMETIDAS A DIFERENTES CICLOS DE USO PARA
PREPAROS EM MOLARES INFERIORES: UM ESTUDO EX VIVO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde. Área de concentração: Medicina II.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Samuel Rodrigues Carvalho
Coorientador: Prof. Dr. Bruno Carvalho de Sousa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S583a Silva, Silvana Jessica Carlos da.
Avaliação microestrutural e microquímica de limas Reciproc após serem submetidas a diferentes ciclos de uso para preparos em molares inferiores : um estudo ex vivo / Silvana Jessica Carlos da Silva. – 2025.
91 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Sobral, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Samuel Rodrigues Carvalho.
Coorientação: Prof. Dr. Bruno Carvalho de Sousa.
1. instrumentos odontológicos. 2. endodontia. 3. microscopia eletrônica de varredura. 4. espectroscopia por energia dispersiva. I. Título.

CDD 610

SILVANA JÉSSICA CARLOS DA SILVA

AVALIAÇÃO DA ULTRAESTRUTURA DE LIMAS RECIPROC SUBMETIDAS A
DIFERENTES CICLOS DE USO EM PREPAROS ENDODÔNTICOS DE
MOLARES INFERIORES: UM ESTUDO EX VIVO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde. Área de concentração: Medicina II.

Aprovada em: __/__/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Samuel Rodrigues Carvalho
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Bruno Carvalho de Sousa
(Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Victor Pinheiro Feitosa
University of Iowa

Prof. Dr. Filipe Nobre Chaves
Universidade Federal do Ceará
(UFC)

AGRADECIMENTOS

“Deus não poderia inspirar em mim desejos irrealizáveis”(Santa Terezinha do Menino Jesus).

Agradeço à Deus por ter me dado força para perseverar e concluir esse sonho que ele mesmo colocou no meu coração.

Agradeço aos meus pais Carlos e Silvana (*In memorian*) pelo dom da vida. Agradeço principalmente às mães que Deus me concedeu, Aurilena e Raimunda, para cuidarem, me amarem e ensinarem com todo amor do mundo. Sem dúvidas nada disso teria sido possível sem as orações, o amparo, cuidado, força e amor de vocês durante toda minha vida e principalmente nessa etapa, nenhuma palavra seria suficiente para expressar meu amor e minha gratidão.

Agradeço aos meus avós Soledade (*In Memoriam*) e Francisco (*In Memoriam*) que também desempenharam papel fundamental na minha formação pessoal e profissional, tenho certeza que onde estiverem vocês estão felizes com essa conquista. Meu amor e gratidão por vocês é eterno.

Ao meu noivo, Julio Cesar, que esteve comigo em todas as etapas da minha vida profissional desde a graduação, agradeço a paciência, apoio e amor, sobretudo nos momentos mais difíceis.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará pela oportunidade e por todos os conhecimentos adquiridos desde a graduação. Agradeço a todos os colaboradores da UFC Campus Sobral nas pessoas de Jesse, Janiele Cristina, Kilvia Alcântara, Luzia Nádia, Maria Helena, Adriana da Silva, Angélica Vasconcelos, Andrine Tavares, Francisco Felipe, Glória Maria, João Ataúfo, Rosane Sales, Júnior, Aristides e Lidiane, vocês foram fundamentais para o cumprimento do meu estágio docente e para o desenvolvimento da pesquisa. Aos técnicos da central analítica da UFC Fortaleza Campus Pici, João Kennedy e Cristiane agradeço pela disponibilidade, ajuda e compreensão durante a pesquisa. Agradeço também à técnica da Central Analítica da UFC- Campus Russas Gilnara Bandeira, sua ajuda, colaboração e rapidez foram importantíssimas para o sucesso deste trabalho. Sou grata também por toda ajuda e pelas considerações do Professor Paulo Goberlânio na estatística desse trabalho.

Agradeço aos mesmo amigos de graduação, mestrado e especialização nas pessoas de Lucas de Castro, Katlyn, Andréia, Mateus e Laísa, suas orações, apoio e incentivo foram fundamentais para que eu conseguisse chegar até aqui.

Por último, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador Professor Samuel

Carvalho, seu exemplo, ajuda, ensino, paciência e disponibilidade foram indispensáveis para que conseguíssemos chegar ao fim deste trabalho com êxito. Agradeço também ao Professor Bruno Sousa, orientador deste trabalho e meu professor orientador desde a graduação, seu compromisso, ajuda, ensino e amizade foram e são indispensáveis para a profissional que eu sou hoje, sou muito grata por todas as oportunidades que vocês dois me permitiram ter.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para conclusão desta etapa tão importante para mim. Cada palavra e ajuda contribuíram para a conquista deste sonho.

*"Deus conceda-me serenidade para aceitar as coisas que eu não posso
modificar, coragem para modificar aquelas que eu posso, e sabedoria
para reconhecer a diferença".*

Reinhold Niebuhr.

RESUMO

A instrumentação adequada é crucial para a desinfecção do sistema de canais radiculares. Limas reciprocantes de níquel-titânio (NiTi) m-Wire, como as Reciproc®, simplificaram o preparo endodôntico devido à sua flexibilidade e capacidade de uso em único instrumento. Apesar da recomendação de uso único pelo fabricante, a reutilização é uma prática comum devido a questões de sustentabilidade e viabilidade econômica, o que levanta preocupações sobre a integridade estrutural e composicional desses instrumentos. Este estudo objetivou analisar as alterações ultraestruturais e composicionais de limas Reciproc® R25 submetidas a múltiplos ciclos de uso em canais mesiais de molares inferiores, avaliando seu potencial de reutilização. Foram utilizadas 11 limas Reciproc® R25: uma lima virgem e dez limas que instrumentaram de um a dez condutos, passando por desinfecção e esterilização após cada uso. Os últimos 5 mm das limas foram avaliados qualitativa e estruturalmente por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) para identificar fissuras, cavitações, deformações e alterações nas relações Ni/Ti, Ca/Ni e Ca/Ti. Os dados foram analisados por correlação de Pearson e teste t de Student ($p < 0,05$). Todas as limas reutilizadas apresentaram detritos e alta incidência de deformações (fissuras, crateras e farpas), independentemente do número de usos. No entanto, a redução nas relações Ni/Ti (1-2mm: 1.1016 ± 0.0308 ; 3-4mm: 1.0837 ± 0.0263 , $p = 0,160$), Ca/Ni (1-2mm: 0.0177 ± 0.0283 ; 3-4mm: 0.0226 ± 0.0312 , $p = 0,706$) e Ca/Ti (1-2mm: 0.0192 ± 0.0300 ; 3-4mm: 0.0239 ± 0.0327 , $p = 0,729$) não foi estatisticamente significativa com os ciclos de esterilização ou com a presença de deformações. Embora as limas Reciproc® desenvolvam deformações visíveis após um único uso, as análises de MEV e EDS não revelaram alterações significativas na composição elementar do NiTi, sugerindo que a perda de material ocorre de forma equilibrada. Isso indica que a integridade física das limas é comprometida com a reutilização, mas não sua composição intrínseca.

Palavras-chave: instrumentos odontológicos; endodontia; microscopia eletrônica de varredura; espectroscopia por energia dispersiva.

ABSTRACT

Proper instrumentation is essential for the disinfection of the root canal system. Nickel-titanium (NiTi) m-Wire reciprocating files, such as Reciproc®, have simplified endodontic preparation due to their flexibility and single-file usage capability. Although single use is recommended by the manufacturer, reuse is a common practice due to sustainability and economic viability concerns, raising questions about the structural and compositional integrity of these instruments. This study aimed to analyze the ultrastructural and compositional changes in Reciproc® R25 files subjected to multiple use cycles in the mesial canals of lower molars, evaluating their reuse potential. Eleven Reciproc® R25 files were used: one unused file and ten files that instrumented one to ten canals, undergoing disinfection and sterilization after each use. The apical 5 mm of the files were qualitatively and structurally evaluated using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) to identify cracks, cavitations, deformations, and changes in Ni/Ti, Ca/Ni, and Ca/Ti ratios. Data were analyzed using Pearson's correlation and Student's t-test ($p < 0.05$). All reused files exhibited debris and a high incidence of deformations (cracks, craters, and barbs), regardless of the number of uses. However, the reduction in Ni/Ti ratios (1–2 mm: 1.1016 ± 0.0308 ; 3–4 mm: 1.0837 ± 0.0263 , $p = 0.160$), Ca/Ni (1–2 mm: 0.0177 ± 0.0283 ; 3–4 mm: 0.0226 ± 0.0312 , $p = 0.706$), and Ca/Ti (1–2 mm: 0.0192 ± 0.0300 ; 3–4 mm: 0.0239 ± 0.0327 , $p = 0.729$) was not statistically significant with the number of sterilization cycles or with the presence of deformations. Although Reciproc® files develop visible deformations after a single use, SEM and EDS analyses did not reveal significant changes in the elemental composition of NiTi, suggesting that material loss occurs in a balanced manner. This indicates that while the physical integrity of the files is compromised with reuse, their intrinsic composition remains unaffected.

Keywords: dental instruments; endodontics; scanning electron microscopy; energy dispersive x-ray spectroscopy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cálculo do ângulo de curvatura (α) da raiz mesial	28
Figura 2: Sistema de identificação das amostras através de cursores. A. pétalas nas cores amarelo e preto. B. Lima Reciproc com 2 cursores (Amostra 9): Cursor preto com 8 pétalas e cursor amarelo com 1 pétala.....	29
Figura 3: Presença de esfregaço nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 4 canais mesiais e processo de desinfecção	32
Figura 4: Presença de fissuras nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 10 canais mesiais e processo de desinfecção.....	33
Figura 5: Presença de crateras nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 10 canais mesiais e processo de desinfecção.....	34
Figura 6: Presença de Farpas nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 6 canais mesiais e processo de desinfecção.....	35
Figura 7: Composição da amostra 1 na região de 1 a 2 mm	37
Figura 8: Composição da amostra 4 na região 3 a 5 mm	38
Figura 9: Gráfico de dispersão de tendência da relação total de Ni/Ti. A. Superfície total da lima. B. Região de 1 a 2 mm. C. Região 3 a 5 mm.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de usos das limas R25 possíveis por grupo dental /raízes / canais.....	27
Tabela 2: Dados absolutos do consenso entres os examinadores 1 e 2.	36
Tabela 3: Correlação entre as relações elementares microquímicas e a presença de defeitos microestruturais (avaliação total da lima)	40
Tabela 4: Correlação entre as relações elementares microquímicas e a presença de defeitos microestruturais (avaliação 1-2 mm).....	40
Tabela 5: Correlação entre as relações elementares microquímicas e a presença de defeitos microestruturais (avaliação 3-5 mm).....	40

LISTA DE ABREVIATURAS

MEV	Microscopia eletrônica de varredura
EDS	Espectroscopia por energia dispersiva
NiTi	Níquel-Titânio
Ca	Cálcio
Ni	Níquel
Ti	Titânio
Zr	Zircônio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo Geral	21
2.2 Objetivos específicos	21
3. CAPÍTULO	22
<i>Página de Título</i>	23
AVALIAÇÃO DA ULTRAESTRUTURA DE LIMAS RECIPROC SUBMETIDAS A DIFERENTES CICLOS DE USO EM PREPAROS ENDODÔNTICOS DE MOLARES INFERIORES: UM ESTUDO EX VIVO	23
INTRODUÇÃO.....	25
MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
RESULTADOS.....	32
DISCUSSÃO.....	41
CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	46
4. CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51
ANEXOS	55

1 INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico é baseado no acesso à cavidade endodôntica, limpeza, desinfecção e modelagem do sistema de canais radiculares para posterior obturação destes condutos, possibilitando condições favoráveis para a manutenção da saúde e função dos dentes (Meireles; Bastos; Marques; Garcia Lda *et al.*, 2013).

Durante o preparo, é fundamental a manutenção da forma original e da posição do forame apical no contexto da terapêutica endodôntica a fim de que se obtenha sucesso. Em vista das dificuldades enfrentadas durante esse processo, várias técnicas têm sido constantemente desenvolvidas para minimizar os erros decorrentes da instrumentação do canal radicular, uma vez que ainda há dificuldades em preparar, efetivamente, canais curvos e achatados devido à complexidade anatômica destes (Gao; Gutmann; Wilkinson; Maxwell *et al.*, 2012; Hartmann; Barletta; Camargo Fontanella; Vanni, 2007).

O preparo mecânico e a modelagem dos condutos radiculares com as limas promovem, sobretudo, a remoção de bactérias do interior dos condutos (Mayer; Peters; Barbakow, 2002; Peters, 2004). Assim, considerando essa importância, buscou-se a evolução dos instrumentos modeladores dos condutos a fim de maximizar a limpeza e modelagem dos canais de forma mais segura durante o tratamento endodôntico.

Inicialmente, a modelagem dos condutos era realizada principalmente com limas manuais de aço inoxidável bastante rígidas (Yared, 2008), o que por vezes foi causa de erros iatrogênicos, como desvios nos canais radiculares, assim como também contribuía para que o tratamento endodôntico se estendesse por longo tempo clínico (Peters, 2004).

Assim, ao longo do tempo, houve a inclusão de instrumentos fabricados com liga de Níquel-Titânio (NiTi), pensados para minimizar as iatrogenias causadas pelo aço inoxidável (Walia; Brantley; Gerstein, 1988). As principais propriedades dessa liga são elasticidade e efeito memória de forma. Constantemente, diferentes estratégias de fabricação têm sido propostas a fim de melhorar a mecânica desses instrumentos, aumentando a flexibilidade, resistência à fadiga e a fraturas. São incluídos nesse processo de fabricação tratamentos térmicos e desenhos das secções transversais das limas (Gambarini; Gergi; Naaman; Osta *et al.*, 2012; Johnson; Lloyd; Kuttler; Namerow, 2008). A flexibilidade das limas de NiTi, vantagem principalmente em canais curvos, se deve à propriedade dessa liga de sofrer transformação entre a fase austenítica (original) e martensítica (após sofrer tensão), assim mesmo após serem tensionadas ou receberem calor, as limas são capazes de retornar a sua forma original

(Bergmans; Van Cleynenbreugel; Wevers; Lambrechts, 2001).

A principal desvantagem das limas NiTi é o risco de fraturas durante seu uso, podendo resultar em um prognóstico duvidoso para o dente. As fraturas podem ocorrer devido a situações como estresse torcional e fadiga cíclica durante a instrumentação. A primeira situação ocorre quando a ponta do instrumento emperra, mas a haste da lima continua girando, enquanto a segunda é causada por tensões de tração e compressão repetidas em um canal curvo, embora geralmente a fratura do instrumento seja devida à combinação de ambas as situações (Kim; Kwak; Cheung; Ko *et al.*, 2012; Kim; Cheung; Park; Ko *et al.*, 2012). Muitas vezes, essas fraturas ocorrem sem que haja sinais prévios de deformação ou qualquer outro sinal visível de perigo. Entre os fatores que parecem contribuir para uma maior ocorrência de fraturas, estão o raio e o ângulo de curvatura do dente, a experiência e a técnica usadas pelo operador, a velocidade de rotação, o torque, o tamanho do instrumento, as características químicas das ligas de NiTi e o tratamento da superfície do instrumento (Shah; Patel; Amin; Kharod *et al.*, 2013).

Atualmente no mercado existem muitos instrumentos fabricados com liga de NiTi, criados originalmente para serem utilizados em rotação contínua (Bryant; Thompson; Al-Omari; Dummer, 1998; Ruddle; Machtou; West, 2013; Schwartz; Mcspadden, 1999) No entanto, o movimento rotatório, em alguns canais muito curvos podem levar à fadiga cíclica e até fratura (Arias; Perez-Higueras; De La Macorra, 2012; Spagnuolo; Ametrano; D'anto; Rengo *et al.*, 2012), fazendo-se necessário uso de limas múltiplas combinadas para preparo de um dente.

A fim de revolucionar e diminuir ainda mais o tempo operatório, foi introduzido o uso de instrumentos únicos na endodontia, assim como o movimento recíprocante (Yared, 2008). Por meio da implementação desse sistema recíprocante, as limas Reciproc® (VDW GmbH, Munique, Alemanha) alternam em movimentos de rotação 150° em sentido anti-horário e 30° no sentido horário, o qual determina a amplitude de rotação maior para esquerda e menor para direita, o que tem mostrado prolongar a vida útil dos instrumentos de NiTi, aumentando a resistência à fadiga (Meireles; Bastos; Marques; Garcia Lda *et al.*, 2013). As limas são acopladas no motor endodôntico calibrado no sistema Reciproc all, com uma rotação de 300 rpm (rotações por minuto) (Kim; Kwak; Cheung; Ko *et al.*, 2012; Kim; Cheung; Park; Ko *et al.*, 2012; Lopes; Vieira; Elias; Siqueira Jr *et al.*, 2013).

O sistema Reciproc® é composto por três instrumentos de conicidade regressiva: R25 (25.08), R40 (40.06) e R50 (50.05), produzidas com uma liga de NiTi especial chamada M-wire, o que permite a elas melhores propriedades de que as limas de NiTi convencionais

(Gambarini; Grande; Plotino; Somma *et al.*, 2008). O tratamento M-wire é obtido através de uma série de ciclos térmicos patenteados pela casa comercial para obter um fio superelástico que se encontra na fase cristalográfica de martensita estável (Arias; Perez-Higueras; De La Macorra, 2012; Gambarini; Grande; Plotino; Somma *et al.*, 2008; Gao; Gutmann; Wilkinson; Maxwell *et al.*, 2012; Johnson; Lloyd; Kuttler; Namerow, 2008).

As limas Reciproc® são utilizadas para preparos com apenas 1 instrumento mecanizado, permitindo uma modelagem adequada, com menos passos operatórios e menor arsenal de instrumentos (Yared, 2008). Em vista dessa simplificação e qualidade da modelagem muitos serviços de saúde e instituições de ensino têm adotado esse sistema de preparo. Sua qualidade, segurança e a simplificação no processo de modelagem e limpeza dos canais proporcionam uma boa resposta aos objetivos destes serviços, e torna mais simples ao processo de ensino e aprendizagem dos alunos nesse primeiro contato com a endodontia. No entanto, a indicação de um único uso por parte do fabricante, além de ser não sustentável e muitas vezes financeiramente inviável para essas instituições com grande fluxo de pacientes.

Na literatura existem alguns estudos que defendem que as limas Reciproc® podem ser utilizadas algumas vezes (Burklein; Hinschitza; Dammaschke; Schafer, 2012; Caballero; Rivera; Salas, 2015; Park; Kim; Shon; You *et al.*, 2014). Para Burklein e seus colaboradores (Burklein; Hinschitza; Dammaschke; Schafer, 2012), a Reciproc® mostrou-se capaz de ser utilizada em 4 condutos com segurança, assim como para Park e seus colaboradores (Park; Kim; Shon; You *et al.*, 2014) e Caballero e seus colaboradores (Caballero; Rivera; Salas, 2015), essas limas poderiam ser utilizadas em 5 a 9 canais radiculares sem apresentarem fraturas.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é uma técnica de análise morfológica amplamente utilizada para investigar a superfície de materiais em alta resolução. Nesse método, um feixe de elétrons varre a amostra, gerando sinais secundários que são coletados para formar imagens detalhadas da topografia e da composição superficial. A MEV permite a visualização de estruturas em escala nanométrica, com grande profundidade de campo e contraste, tornando-se essencial para estudos que requerem a análise minuciosa da morfologia e da textura de diferentes tipos de materiais, como metais e tecidos biológicos (Caballero; Rivera; Salas, 2015; Hanan; Meireles; Sponchiado Junior; Hanan *et al.*, 2015; Kalyoncuoglu; Keskin; Uzun; Bengu *et al.*, 2016; Restrepo-Restrepo; Holguin-Vasquez; Canas-Jimenez; Villa-Machado *et al.*, 2021).

Acoplado à MEV, o sistema de Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) é utilizado para identificar e quantificar os elementos químicos presentes na amostra. O

EDS funciona a partir da emissão de raios X característicos produzidos quando os elétrons do feixe interagem com os átomos do material analisado. Esses sinais são processados por um detector que fornece um espectro, permitindo determinar quais elementos estão presentes e, em muitos casos, suas proporções relativas. Essa análise é especialmente útil para a investigação da composição elementar de regiões específicas previamente visualizadas na MEV, oferecendo uma compreensão mais completa da amostra (Kalyoncuoglu; Keskin; Uzun; Bengu et al., 2016).

A combinação da MEV com o EDS oferece vantagens significativas na caracterização da ultraestrutura de materiais, especialmente por integrar análise morfológica e composicional em uma única abordagem. Essa sinergia permite a correlação direta entre a microestrutura e a composição química de áreas de interesse (Caballero; Rivera; Salas, 2015; Hanan; Meireles; Sponchiado Junior; Hanan et al., 2015; Kalyoncuoglu; Keskin; Uzun; Bengu et al., 2016; Restrepo-Restrepo; Holguin-Vasquez; Canas-Jimenez; Villa-Machado et al., 2021).

Diante destes achados, o curso de odontologia da Universidade Federal do Ceará-Campus Sobral implementou desde 2021 um meticuloso protocolo de uso e descarte para estes instrumentos, permitindo que eles fossem disponibilizados nas clínicas até que eles sejam utilizados em até 10 canais radiculares.

No entanto, entre etapas de usos, lavagens, esterilizações e reutilizações, surgiu o questionamento de como se apresenta a estrutura física e química destes instrumentos em relação a sua composição e deformidades após cada um desses usos, ressaltando que fraturas não foram observadas até o presente momento nas Clínicas da Universidade.

É impossível prever a separação de um instrumento rotativo, porém, se for realizado um exame visual minucioso ou melhor ainda, ampliado com lupas ou microscópio, podem ser encontrados defeitos superficiais que são indícios, embora não definitivos, de uma fratura no futuro. Os defeitos superficiais podem ser macroscópicos e microscópicos, sendo a fratura o único defeito visível sem o auxílio de ampliação. Dentro desse contexto, por meio deste trabalho, se buscou avaliar qualitativamente as limas reciprocantes Reciproc® R25 após cada uso no que diz respeito a parâmetros traçados por Troian e seus colaboradores como: fissuras, cavitações ou crateras, presença de substrato orgânico e deformações na estrutura de suas lâminas (Troian; So; Figueiredo; Oliveira, 2006).

Assim, objetivou-se analisar a estrutura de limas Reciproc® após cada um de seus usos em preparos de canais mesiais de molares inferiores seguindo protocolo vigente na UFC. Um total de 11 instrumentos reciprocantes R25 foram utilizados na pesquisa, sendo 10 deles

resgatados após instrumentação do primeiro ao décimo conduto e tendo passado pelo processo de desinfecção e esterilização após cada uso, além de uma lima nunca utilizada a fim de observar sua estrutura após a fabricação.

Essa avaliação se deu por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (Scanning Electron Microscopy – SEM) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (Energy Dispersive Spectroscopy – EDS) que forneceram imagens detalhadas dos instrumentos após cada uso, das transformações observadas nas suas estruturas, dados sobre a composição dos instrumentos utilizados no estudo (Caballero; Rivera; Salas, 2015; Hanan; Meireles; Sponchiado Junior; Hanan et al., 2015; Kalyoncuoglu; Keskin; Uzun; Bengu et al., 2016; Restrepo-Restrepo; Holguin-Vasquez; Canas-Jimenez; Villa-Machado et al., 2021).

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar, *in vitro*, a ultraestrutura de limas Reciproc® submetidas a diferentes ciclos de instrumentação em molares inferiores, por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva.

Objetivos específicos

- Avaliar a estrutura das limas reciprocantes, Reciproc® R25, por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura;
- Avaliar a presença de fissuras, crateras, farpas na estrutura física dos instrumentos;
- Avaliar a presença de substratos orgânicos (esfregaço biológico) na estrutura dos instrumentos;
- Avaliar a composição estrutural das limas por meio de Espectroscopia por Energia Dispersiva.

3 CAPÍTULO

Esta dissertação está em conformidade com o Artigo 46 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará, o qual estabelece as diretrizes para a apresentação de trabalhos de conclusão de Mestrado no formato alternativo. Esse modelo permite a inclusão de um artigo científico de autoria ou coautoria do(a) candidato(a), desde que elaborado segundo as normas do periódico científico de destino.

Nesse contexto, a presente dissertação é composta por um artigo científico intitulado "Análise Microestrutural e Microquímica de Limas Reciproc Após Múltiplos Usos em Molares Inferiores – Estudo Ex Vivo". O artigo foi desenvolvido de acordo com as normas de submissão do periódico *Journal of Endodontics* (ISSN 0099-2399) com fator de impacto 3.5 (2023), Eigenfactor 0.00737, e CiteScore 8,5 (2022).

Página de Título

"Análise Microestrutural e Microquímica de Limas Reciproco Após Múltiplos Usos em Molares Inferiores – Estudo Ex Vivo".

Silvana Jéssica Carlos da Silva DDS¹, Bruno Carvalho de Sousa DDS, MSc, PhD²,
Francisco Samuel Rodrigues Carvalho DDS, MSc, PhD².

¹Aluna do Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Ceará, Sobral, CE, Brasil.

²Professor do Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Ceará, Sobral, CE, Brasil.

Palavras-chave: instrumentos odontológicos; endodontia; microscopia eletrônica de varredura; espectrometria por raios X.

Autor de correspondência:

Bruno Carvalho de Sousa, DDS, MSc, PhD.

Sobral Dental School, Federal University of Ceará, *Campus* Sobral. Zipcode:
62010-590, Sobral, CE, Brazil

email: brunocs@ufc.br

Os autores negam quaisquer conflitos de interesse relacionados a este estudo.

RESUMO

O preparo endodôntico e a modelagem se configuram como etapa fundamental para a desinfecção do sistema de canais radiculares. Para tanto, a busca pela fabricação de instrumentos cada vez mais seguros e eficientes é uma constante. Podemos citar como exemplo as limas Reciproc® (VDW GmbH, Munique, Alemanha), produzidas em liga de níquel-titânio (NiTi) m-Wire, que apresentam, melhor flexibilidade que o NiTi convencional e efeito memória de forma. Tais limas são utilizadas para preparos com apenas 1 instrumento mecanizado, permitindo uma modelagem adequada, com menos passos operatórios e menor arsenal de instrumentos. Os serviços de saúde e instituições de ensino têm adotado sistemas de preparo com esta sistemática. Sua qualidade, segurança e a simplificação no processo de modelagem e limpeza dos canais proporcionam uma boa resposta aos objetivos destes serviços, bem como ao processo de ensino e aprendizagem dos alunos. No entanto, a indicação de um único uso por parte do fabricante, além de ser não sustentável e muitas vezes financeiramente inviável, gera a curiosidade de analisar a estrutura física e química destes instrumentos caso fossem utilizados mais de uma vez. Assim, por meio deste estudo, objetivou-se analisar a estrutura de limas Reciproc® de forma analítica após cada um de seus usos em preparos de canais mesiais de molares inferiores. Um total de 11 instrumentos reciprocantes R25, limas de conicidade 25.08 e de 25mm, foram utilizados na pesquisa, sendo 10 deles resgatados após instrumentação do primeiro ao décimo conduto e tendo passado pelo processo de desinfecção e esterilização após cada uso, além de uma lima nunca utilizada a fim de observar sua estrutura após a fabricação. Foram avaliados os últimos 5 mm das limas Reciproc® R25 após cada uso, considerando parâmetros como fissuras, cavitações e deformações em suas lâminas, conforme proposto por Troian et al. (2006). As limas foram submetidas à análise qualitativa e estrutural por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura- MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura Inspect S50 – FEI) e Espectroscopia por Energia Dispersiva -EDS (Bruker axs). Os dados foram tabelados em excel e a análise estatística foi concluída usando correlação de Pearson e teste t de Student (média +/- DP). Ambos os testes com significância estatística definida em $p < 0,05$.

Palavras-chave: instrumentos odontológicos; endodontia; microscopia eletrônica de varredura; espectrometria por raios X.

INTRODUÇÃO

A preparação mecânica e a modelagem dos canais radiculares por meio do uso de limas são etapas cruciais no tratamento endodôntico, sendo fundamentais para a remoção de bactérias presentes no interior dos canais^{1, 2}. Reconhecendo essa relevância, os instrumentos de modelagem têm passado por constantes inovações, buscando aprimorar a limpeza e a conformação dos canais de forma segura e eficiente.

Inicialmente, os procedimentos de modelagem eram realizados predominantemente com limas manuais de aço inoxidável, conhecidas por sua rigidez³. No entanto, essa característica frequentemente resultava em erros iatrogênicos, como desvios nos canais radiculares, além de prolongar significativamente o tempo clínico do tratamento².

Nos últimos anos, instrumentos confeccionados com ligas de Níquel-Titânio (NiTi) foram introduzidos para minimizar as limitações do aço inoxidável⁴. Essa liga apresenta propriedades como elasticidade e memória de forma, que são continuamente otimizadas por diferentes técnicas de fabricação, incluindo tratamentos térmicos e variações no desenho das seções transversais das limas⁵. A flexibilidade das limas de NiTi, especialmente útil em canais curvos, é atribuída à capacidade da liga de alternar entre as fases austenítica e martensítica, retornando à sua forma original após tensão ou aquecimento⁶.

Atualmente, o mercado oferece uma ampla variedade de instrumentos de NiTi, inicialmente projetados para serem utilizados em rotação contínua⁷⁻⁹. Contudo, em canais extremamente curvos, o movimento rotatório pode induzir fadiga cíclica e fraturas nos instrumentos¹⁰, tornando necessário o uso de várias limas combinadas durante o preparo de um único dente.

Para reduzir o tempo operatório e simplificar o procedimento, foram desenvolvidos instrumentos únicos e sistemas de movimento recíprocante³. Nesse contexto, as limas Reciproc® (VDW GmbH, Munique, Alemanha) utilizam um movimento alternado de 150° no sentido anti-horário e 30° no sentido horário, operando a 300 rpm com um motor calibrado para o sistema Reciproc all¹¹⁻¹³. Essas limas são fabricadas com a liga especial de NiTi chamada M-wire, que oferece propriedades superiores às das limas de NiTi convencionais¹⁴. Essa liga é obtida por meio de ciclos térmicos patenteados que conferem superelasticidade e estabilidade na fase martensítica.

Devido à simplificação e à qualidade proporcionadas pelas limas Reciproc®, diversas instituições de ensino têm incorporado seu uso para facilitar o aprendizado em tratamentos endodônticos. No entanto, um aspecto intrigante é a recomendação do fabricante para o descarte dos instrumentos após o primeiro uso.

Estudos sugerem que as limas Reciproc® podem ser reutilizadas em vários canais sem comprometer sua segurança¹⁵⁻¹⁷. Segundo Burklein et al. (2012)¹⁵, esses instrumentos podem ser usados em até quatro canais, enquanto Park et al. (2014)¹⁷ e Caballero et al.(2014)¹⁶ relatam possibilidades de uso em 5 a 9 canais sem ocorrência de fraturas.

Com base nesses achados, o curso de Odontologia da Universidade Federal do Ceará – Campus Sobral implementou, a partir de 2021, um protocolo rigoroso para controle do uso e descarte desses instrumentos, permitindo seu uso em até 10 canais radiculares.

Apesar disso, surgiram questionamentos sobre como o uso repetido, incluindo etapas de lavagem, esterilização e reutilização, afeta a estrutura física e química das limas, considerando que nenhuma fratura foi observada nas clínicas da Universidade até o momento. Embora a separação de instrumentos rotativos seja imprevisível, inspeções visuais detalhadas – ampliadas por lupas ou microscópios – podem revelar defeitos superficiais indicativos de futuras fraturas.

Neste estudo, buscou-se avaliar os últimos 5 mm das limas Reciproc® R25 após cada uso, considerando parâmetros como fissuras, cavitações e deformações em suas lâminas, conforme proposto por Troian et al. (2006)¹⁸. A análise foi realizada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), permitindo uma observação detalhada dos instrumentos após cada uso. Foram utilizados 11 instrumentos, sendo 10 deles coletados após a instrumentação de canais mesiais de molares inferiores extraídos e um instrumento nunca utilizado¹⁹⁻²¹.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual Vale do Acaraú sob o número de protocolo CAAE 83659624.0.0000.5053 (Anexo 1).

Trata-se de um estudo *in vitro*, baseado na metodologia descrita por Hanan et al, (2015)²², com uma amostra não aleatória de 11 de limas do sistema recíprocante da marca

Reciproc® R25. Foram utilizadas dez limas para o preparo dos canais mesiais de 30 molares inferiores; uma lima não utilizada foi incluída como controle negativo, representando a condição basal do instrumento.

Foi instituído o protocolo de uso da disciplina de Endodontia laboratorial do curso de graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará – campus Sobral (UFC-Sobral), onde cada uma das limas R25 foi utilizada em 10 canais, variando o número de casos de acordo com o tipo de dente em questão conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1: Número de usos das limas R25 possíveis por grupo dental /raízes / canais.

grupo dental	característica	canais (n)	usos (n)
Incisivos inferiores	unirradicular	1	10
Pré-molar superior	vestibular e palatina*	2	5
Molar superior	mésio-vestibular e disto-vestibular*	2	5
Molar inferior	mésio-vestibular e mésio-lingual*	2	5

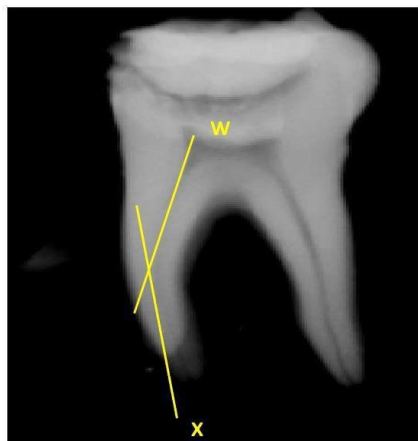
*podem estar fusionadas

Fonte: Próprio autor

Os dentes selecionados para o estudo foram doados pelo Banco de Dentes da UFC – Sobral. Para fins de triagem, todas as unidades foram identificadas e submetidas à radiografia digital. Apenas os dentes nos quais todo o sistema de canais radiculares pôde ser visualizado com clareza foram incluídos na amostra e alocados no grupo experimental. Dentes com curvatura radicular maiores que 35°, canais parcial ou completamente calcificados ou canais excessivamente largos foram excluídos do estudo.

Para calcular o ângulo e o raio de curvatura das raízes mesiais de acordo com Método de Schneider (1971) e Pruett et al. (1997)²³, realizou-se uma tomada radiográfica orto- radial dos elementos dentais com exposição de 0,3 segundos e distância foco-filme de 10 cm para visualização e medição do ângulo da curvatura (Figura 1).

Figura 1: Cálculo do ângulo de curvatura (α) da raiz mesial.



Fonte: Próprio autor

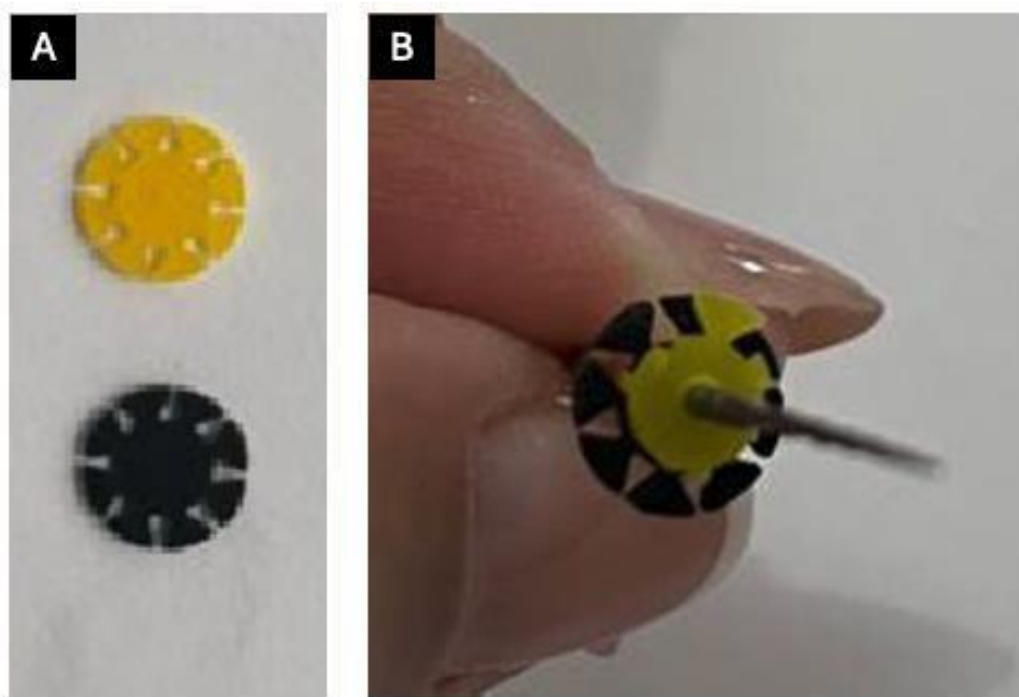
Identificação das amostras

Os 11 instrumentos novos foram retirados de suas embalagens estéreis. Utilizando os equipamentos de proteção individual adequados e pinças clínicas, o operador manipulou os instrumentos endodônticos pela haste, de modo a evitar qualquer interferência nos resultados do experimento. Cada lima Reciproc® R25 foi considerada uma unidade amostral. A amostra 1 corresponde à lima que instrumentou um conduto mesial; a amostra 2, dois condutos mesiais; a amostra 3, três condutos mesiais; e assim sucessivamente, até a amostra 10, cuja lima foi utilizada em dez condutos mesiais. Após cada uso, os instrumentos foram submetidos a limpeza e desinfecção em cuba ultrassônica com detergente enzimático, seguidas de esterilização. Ressalta-se que, após o primeiro uso e processo de desinfecção, foi necessário remover o anel de silicone do cabo da lima para permitir seu reacoplamento ao motor endodôntico, uma vez que esse componente sofre expansão que inviabiliza seu encaixe.

Para identificar quantos condutos cada lima instrumentou foram utilizados cursores (Figura 2). Amostra 1– Identificada com um cursor preto com 1 pétala. Amostra 2 – Identificada com um cursor preto com 2 pétalas. Amostra 3- Identificada com um cursor preto com 3 pétalas. Amostra 4- Identificada com um cursor preto com 4 pétalas. Amostra 5- Identificada com um cursor preto com 5 pétalas. Amostra 6- Identificada com um cursor preto com 6 pétalas. Amostra 7- Identificada com um cursor preto com 7 pétalas. Amostra 8- Identificada com um cursor preto com 8 pétalas. Amostra 9 – Identificada com um cursor preto com 8 pétalas e um cursor amarelo com 1 pétala. Amostra 10 – Identificada com um cursor preto com 8 pétalas e

um cursor amarelo com 2 pétalas. Amostra 11 - Lima não utilizada em nenhum conduto (controle negativo).

Figura 2: Sistema de identificação das amostras através de cursores. **A.** pétalas nas cores amarelo e preto. **B.** Lima Reciproc com 2 cursores (Amostra 9): Cursor preto com 8 pétalas e cursor amarelo com 1 pétala.



Fonte: Próprio autor

Instrumentação dos condutos

Após realizar radiografia periapical no dente selecionado, seguindo o protocolo de instrumentação mecanizada implementado na Odontologia UFC- Campus Sobral e os critérios de inclusão deste trabalho, o dente foi posicionado em um torno para dar-se continuidade a cirurgia de acesso com broca esférica nº1012 e 3080 (KG Sorensen®, São Paulo, Brasil) acoplada em caneta de alta rotação (Gnatus®, Barretos, São Paulo, Brasil) (Figura 3). Após trepanar a câmara pulpar e realizar a forma de conveniência do acesso, as embocaduras dos canais foram localizadas com a sonda endodôntica (sonda 47). Após isso, irrigou-se a cavidade pulpar com a solução irrigadora hipoclorito de sódio (NaCl) a 2,5%. Em seguida, foi realizada a exploração inicial com limas especiais (#10, #15, #20) até aproximadamente o comprimento

do CAD (comprimento aparente do dente) obtido na radiografia inicial. Após os passos de pré-alargamento, seguindo o protocolo vigente na UFC- Campus Sobral, foi realizado o preparo cervical com as limas *Orifice Shaper* 17.08 a 350N/m no motor endodôntico E-Connect S® (MKlife, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) até 2/3 do CAD, irrigando entre os usos de todos os instrumentos.

Para determinar o comprimento de trabalho (CT) foram utilizadas limas do tipo C-pilot® #10 e #15 (VDW GmbH, Munique, Alemanha). Essas limas foram introduzidas nos canais Mésio-Vestibular (MV) e Mésio-Lingual (ML) em direção apical até que a ponta da mesma fosse visualizada no forame. A seguir, recuou-se 1 mm do comprimento obtido para determinar o CT.

Em seguida, foi dado início ao preparo dos terços médio e apical dos condutos mesiais com a lima reciprocante R25 (VDW GmbH, Munique, Alemanha), acionada pelo motor E-Connect S® (MKlife, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) avançando em cada terço radicular em incrementos de 3mm com movimentos de bicadas até atingir o comprimento de trabalho.

Durante todo o preparo a cada entrada e saída da lima reciproc R25 no conduto foi realizada irrigação e recapitulação da patência com limas C-pilot #15 (VDW GmbH, Munique, Alemanha).

Aquisição das imagens em MEV/EDS

Após a instrumentação dos canais mesiais, as limas foram identificadas pelo número de usos, lavadas, esterilizadas e armazenadas em tubos de ensaio plásticos vedados, garantindo um ambiente livre de contaminantes. As amostras foram então encaminhadas à Central Analítica da UFC Fortaleza - Campus Pici para análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV Inspect S50 – FEI), visando a obtenção de imagens detalhadas das limas^{16, 22, 24, 25}.

Foram realizadas imagens nos últimos 5 milímetros de cada lima, abrangendo dois pontos específicos (1 a 2 mm e 3 a 5 mm), com aumentos de 500x e 1000x. Este processo resultou em 44 imagens para a análise qualitativa de defeitos como fissuras, crateras, esfregaço biológico e farpas metálicas²².

Análise qualitativa dos defeitos

Os examinadores foram previamente calibrados e treinados com uma amostra de dez imagens provenientes de um banco de dados gerado a partir de limas não utilizadas nesta pesquisa. A calibração estabeleceu o consenso sobre o que representaria cada variável a ser observada: fissura, cratera, esfregação biológico e farpa²². A concordância nessa análise foi quantificada pelo coeficiente Kappa de Cohen, resultando em 0,921 para a avaliação intraexaminador e 0,795 para a interexaminadores.

Em seguida, os examinadores receberam uma planilha contendo o número do instrumento, a localização da imagem e os critérios detalhados para avaliação de defeitos e deformações. As imagens, numeradas de 1 a 44, foram projetadas em PowerPoint® e analisadas em um monitor de computador em tamanho real. Cada examinador determinou a presença ou ausência das alterações no campo da imagem, considerando que cada tipo de defeito poderia existir de forma independente²².

Análise microquímica por EDS

Após a análise microestrutural por MEV, as amostras foram novamente armazenadas e encaminhadas para o Campus da UFC em Russas para análises microquímicas por Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS). Utilizando um equipamento Bruker© axs, esta etapa buscou avaliar as mudanças na composição elementar^{24, 25} geradas pelos ciclos de instrumentação/esterilização dos instrumentos em áreas selecionadas.

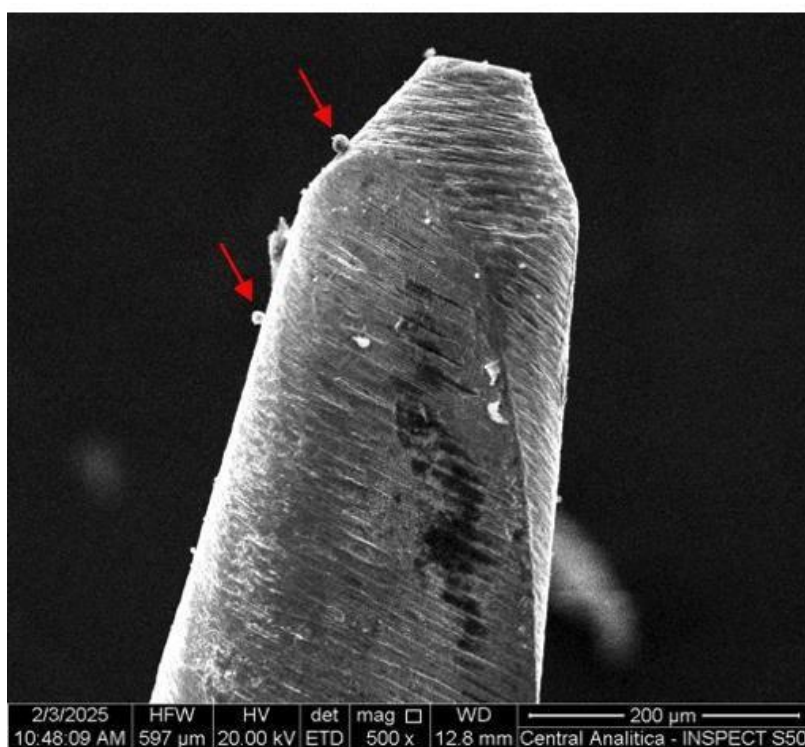
Análise Estatística

As relações entre os achados microestruturais e microquímicos foram exploradas utilizando-se o teste de correlação de Pearson e o teste t de Student. A significância estatística foi definida em $p < 0,05$ para todas as análises.

RESULTADOS

Em relação à presença de detritos, todas as dez amostras experimentais (n=10) e a amostra controle (n=1) demonstraram esfregaço biológico residual, mesmo após os processos de lavagem e esterilização (Figura 3).

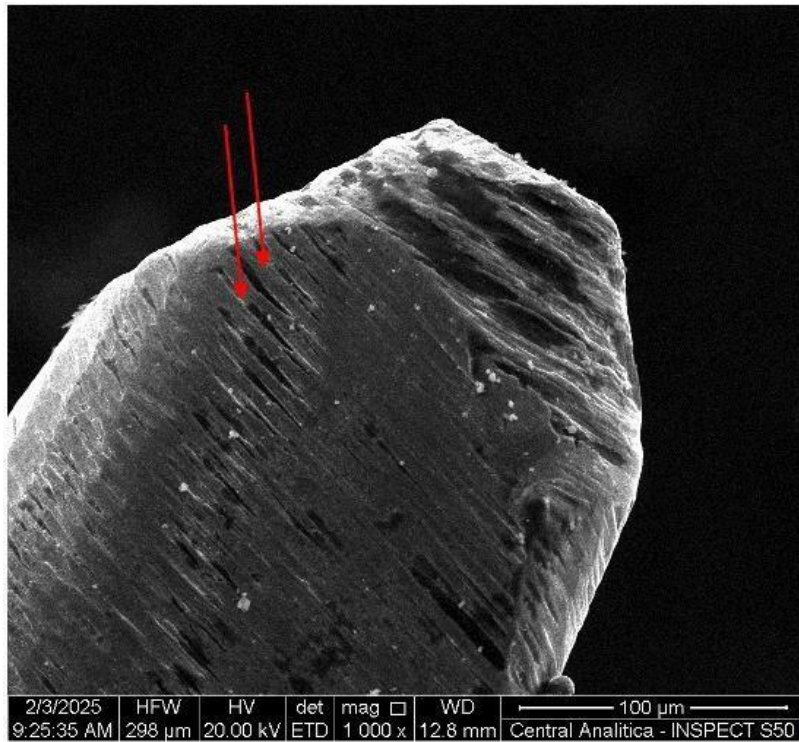
Figura 3: Presença de esfregaço nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 4 canais mesiais e processo de desinfecção.



Fonte: Próprio autor.

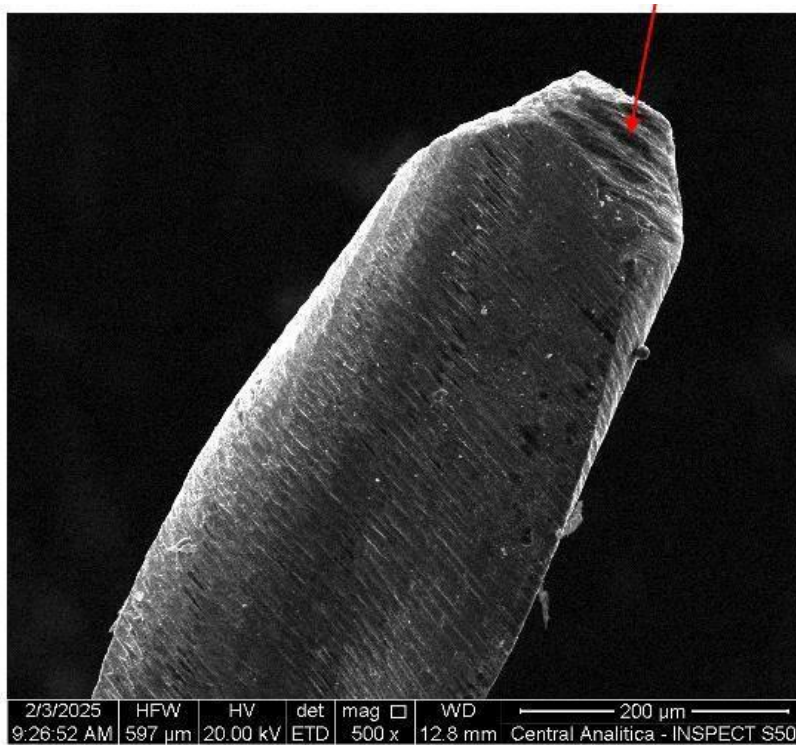
Quanto aos defeitos específicos, todas as dez amostras experimentais (n=10) evidenciaram a presença de fissuras (n=9) (Figura 4), crateras (n=9) (Figura 5) e farpas (n=3) (Figura 6), diferentemente da amostra controle (n=1), que não as apresentou.

Figura 4: Presença de fissuras nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 10 canais mesiais e processo de desinfecção.



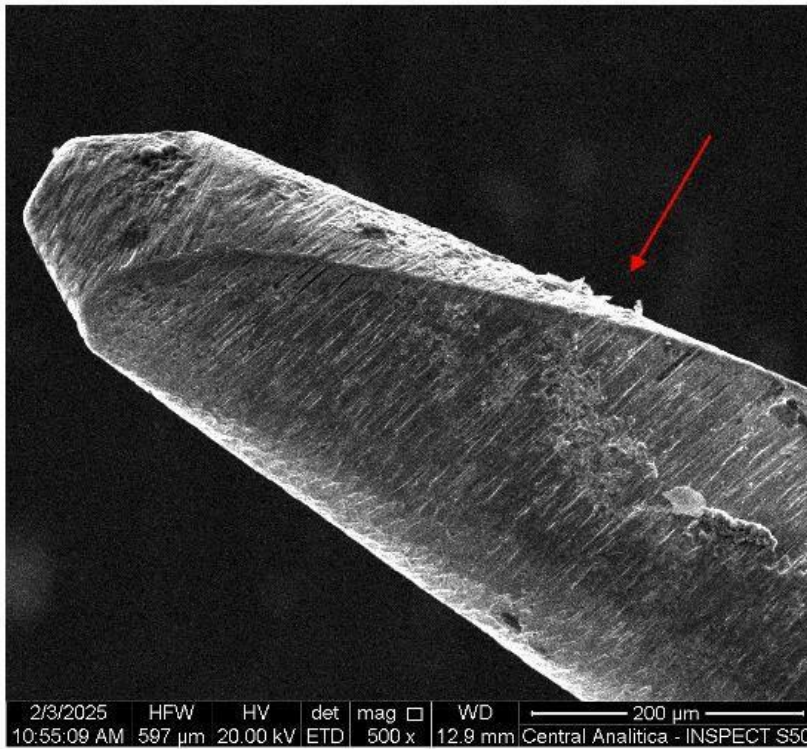
Fonte: Próprio autor.

Figura 5: Presença de crateras nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 10 canais mesiais e processo de desinfecção.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6: Presença de Farpas nas lâminas dos instrumentos Reciproc® R25 após instrumentação de 6 canais mesiais e processo de desinfecção.



Fonte: Próprio autor.

Os valores dos dados das análises da imagem foram tabulados na tabela 2.

Tabela 2: Dados absolutos do consenso entres os examinadores 1 e 2.

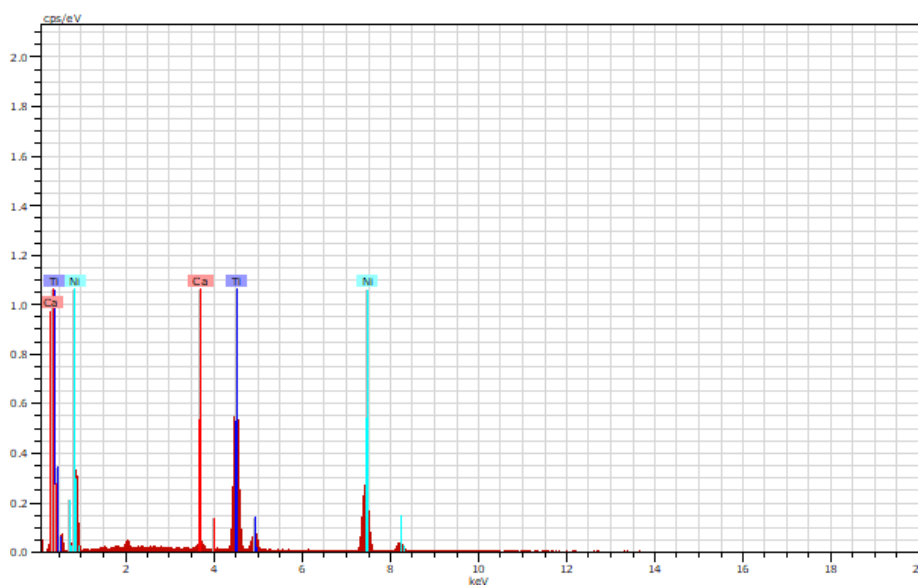
Amostra	EB	Fi	C	Fa		Amostra	EB	Fi	C	Fa		Amostra	EB	Fi	C	Fa		Amostra	EB	Fi	C	Fa
1	Sim	Sim	Sim	Não		12	Sim	Sim	Não	Não		23	Sim	Sim	Sim	Não		34	Sim	Não	Não	Não
2	Sim	Sim	Não	Não		13	Sim	Sim	Sim	Sim		24	Sim	Sim	Sim	Não		35	Sim	Sim	Sim	Sim
3	Sim	Sim	Sim	Sim		14	Sim	Sim	Sim	Não		25	Sim	Sim	Sim	Não		36	Sim	Sim	Sim	Não
4	Sim	Sim	Sim	Não		15	Sim	Sim	Sim	Não		26	Sim	Sim	Não	Não		37	Sim	Não	Não	Não
5	Sim	Sim	Sim	Não		16	Sim	Sim	Sim	Não		27	Sim	Sim	Sim	Sim		38	Sim	Não	Não	Não
6	Sim	Sim	Sim	Não		17	Sim	Sim	Sim	Não		28	Sim	Sim	Sim	Não		39	Sim	Sim	Sim	Sim
7	Sim	Não	Sim	Não		18	Não	Sim	Sim	Não		29	Sim	Sim	Sim	Não		40	Sim	Sim	Sim	Sim
8	Sim	Sim	Sim	Sim		19	Sim	Sim	Sim	Não		30	Sim	Sim	Não	Não		41	Sim	Sim	Sim	Não
9	Sim	Sim	Sim	Não		20	Sim	Sim	Sim	Sim		31	Sim	Sim	Sim	Sim		42	Sim	Sim	Não	Não
10	Sim	Sim	Sim	Sim		21	Sim	Sim	Sim	Não		32	Sim	Sim	Sim	Sim		43	Sim	Sim	Não	Não
11	Sim	Sim	Sim	Não		22	Sim	Sim	Sim	Não		33	Sim	Sim	Sim	Não		44	Sim	Não	Não	Não

Fonte: Dados obtidos após análise das imagens pelos examinadores. EB: esfregaço biológico; Fi: fissura; C: cratera; F: farpa

Análise Microquímica

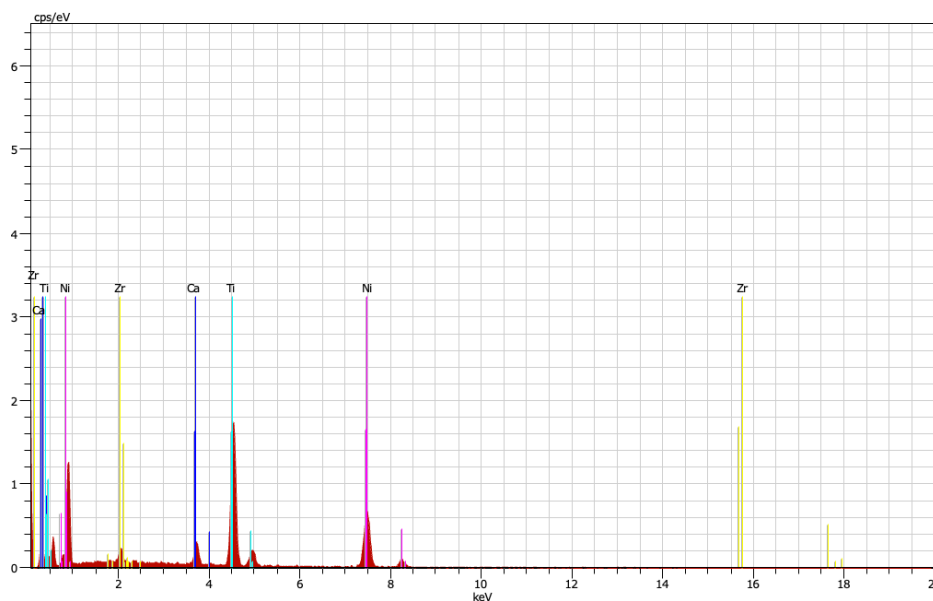
A microanálise EDS revelou a composição das amostras em porcentagem dos elementos detectados. Como pode ser visto, esta avaliação confirmou que as limas eram compostas principalmente de níquel (Ni) e titânio (Ti), apresentando também cálcio (Ca) (Figura 7), provavelmente proveniente de restos biológicos que não foram removidos mesmos após limpeza e esterilização, e Zircônio (Zr) (Figura 8), elemento que não faz parte da composição das limas e que foi detectado apenas na amostra 4, tanto na região de 1 a 2mm como na região de 3 a 5mm. Acredita-se que esse elemento seja proveniente do material utilizado para fixação das amostras no stub para análise na MEV, caracterizando portanto, uma contaminação e por isso foi retirado das análises estatísticas.

Figura 7: Composição da amostra 1 na região de 1 a 2 mm.



Fonte: Próprio autor.

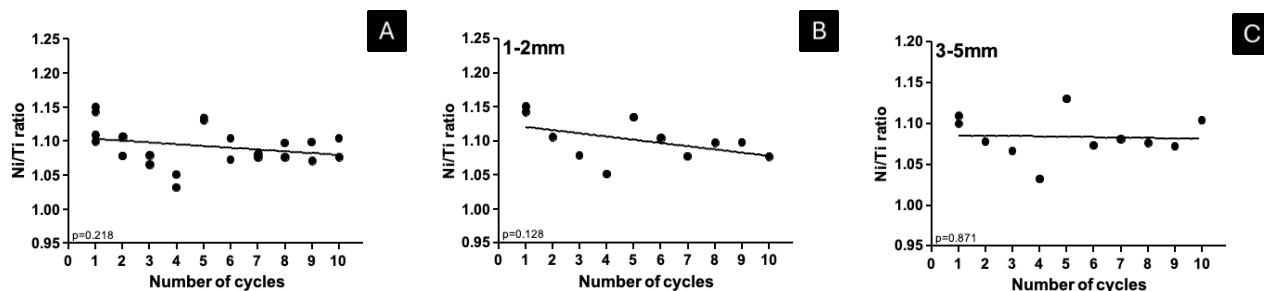
Figura 8: Composição da amostra 4 na região 3 a 5 mm.



Fonte: Próprio autor.

Observou-se uma redução estatisticamente significativa na porcentagem de Ni/Ti das amostras em função dos ciclos de instrumentação e esterilização ($p < 0,05$, correlação de Pearson). Independentemente da área analisada (total, 1 a 2 mm ou 3 a 5 mm), a proporção de Ni/Ti demonstrou uma tendência decrescente (Figura 9), provavelmente devido ao desgaste estrutural e à consequente perda de Níquel ao longo dos ciclos de uso e limpeza. Essa redução foi mais acentuada na região de 1 a 2 mm (Figura 9B) em comparação com a região de 3 a 5 mm (Figura 9C), sugerindo que essa área sofre maior estresse durante a instrumentação. No entanto, os valores estatísticos não permitiram afirmar uma diferença significativa nessa tendência entre as regiões observadas.

Figura 9: Gráfico de dispersão de tendência da relação total de Ni/Ti. A. Superfície total da lima. B. Região de 1 a 2 mm. C. Região 3 a 5 mm.



A análise das relações entre os elementos químicos das amostras por EDS foi realizada utilizando o teste t de Student ($p < 0,05$). Para a relação Ni/Ti, observou-se uma média e desvio padrão de $1,10 \pm 0,03$ na região de 1 a 2 mm, e $1,08 \pm 0,02$ na região de 3 a 4 mm. Ambas as comparações para Ni/Ti ($p = 0,160$), Ca/Ni ($p = 0,760$, com $0,017 \pm 0,02$ na região de 1 a 2 mm e $0,022 \pm 0,03$ na região de 3 a 4 mm) e Ca/Ti ($p = 0,729$, com $0,019 \pm 0,03$ na região de 1 a 2 mm e $0,023 \pm 0,03$ na região de 3 a 4 mm) não apresentaram diferença estatisticamente significativa.

Adicionalmente, utilizando os dados do EDS, foi possível estabelecer uma correlação entre os achados estruturais obtidos por MEV e a composição metálica das limas em seu campo total (Tabela 3), para as regiões de 1 a 2 mm (Tabela 4), e 3 a 4 mm (Tabela 5).

Não se observou influência estatisticamente significativa das proporções de Ni/Ti, Ca/Ni e Ca/Ti sobre a presença de fissuras, crateras e farpas nas amostras. Isso sugere que a ocorrência desses defeitos não está diretamente correlacionada a maiores ou menores perdas metálicas, nem a uma variação significativa na retenção de cálcio nos instrumentos.

Tabela 3: Correlação entre as relações elementares microquímicas e a presença de defeitos microestruturais (avaliação total da lima).

	Fissura		p-	Cratera		p-	Farpa		p-
	Não	Sim	Valor	Não	Sim	Valor	Não	Sim	Valor
1-2mm e 3-5mm									
Relação_Ni_Ti	1.0894±0.0277	1.1253±0.0358	0,101	1.0880±0.0272	1.1134±0.0341	0,121	1.0956±0.0129	1.0920±0.0322	0,829
Relação_Ca_Ni	0.0222±0.0299	0.0000±0.0000	0,317	0.0230±0.0311	0.0073±0.0146	0,342	0.0053±0.0107	0.0235±0.0311	0,272
Relação_Ca_Ti	0.0237±0.0314	0.0000±0.0000	0,309	0.0246±0.0327	0.0078±0.0157	0,335	0.0059±0.0118	0.0250±0.0327	0,270

Ca: cálcio; Ni: níquel; Ti: titânio.

Tabela 4: Correlação entre as relações elementares microquímicas e a presença de defeitos microestruturais (avaliação 1-2 mm).

	Fissura		p-	Cratera		p-	Farpa		p-
	Não	Sim	Valor	Não	Sim	Valor	Não	Sim	Valor
1-2mm									
Relação_Ni_Ti	1.0967±0.0276	1.1505±0.0001	0,096	1.0967±0.0276	1.1505±0.0001	0,096	1.0929±0.0142	1.1048±0.0354	0,594
Relação_Ca_Ni	0.0195±0.0292	0.0000±0.0001	0,540	0.0195±0.0292	0.0000±0.0001	0,540	0.0071±0.0124	0.0217±0.0322	0,476
Relação_Ca_Ti	0.0211±0.0309	0.0000±0.0001	0,530	0.0211±0.0309	0.0000±0.0001	0,530	0.0079±0.0136	0.0235±0.0340	0,472

Ca: cálcio; Ni: níquel; Ti: titânio.

Tabela 5: Correlação entre as relações elementares microquímicas e a presença de defeitos microestruturais (avaliação 3-5 mm).

	Fissura		p-	Cratera		p-	Farpa		p-
	Não	Sim	Valor	Não	Sim	Valor	Não	Sim	Valor
3-5mm									
Relação_Ni_Ti	1.0821±0.0271	1.1000±0.0001	0,546	1.0773±0.0239	1.1010±0.0288	0,195	1.1039±0.0001	1.0817±0.0268	0,450
Relação_Ca_Ni	0.0249±0.0320	0.0000±0.0001	0,477	0.0274±0.0348	0.0097±0.0169	0,432	0.0000±0.0001	0.0249±0.0320	0,477
Relação_Ca_Ti	0.0263±0.0334	0.0000±0.0001	0,472	0.0290±0.0364	0.0104±0.0181	0,432	0.0000±0.0001	0.0263±0.0334	0,472

Ca: cálcio; Ni: níquel; Ti: titânio.

DISCUSSÃO

O uso de dentes extraídos para pesquisas nas mais diversas áreas da odontologia, incluindo a endodontia, apresenta a vantagem de permitir, considerando suas limitações, a reprodução das condições clínicas encontradas no atendimento ao paciente. No entanto, é fato que a variação morfológica do sistema de canais radiculares dentro de um mesmo grupo dental eventualmente torna a padronização dos dentes um desafio complexo. Por esse motivo, critérios rigorosos de inclusão foram adotados para seleção dos dentes selecionados para esta pesquisa, garantindo uma melhor padronização. Neste estudo, foram utilizados dentes humanos (raízes mesiais de molares inferiores), diferentemente de outros estudos como o de Estrela (2008)²⁶ e de Kim et al. (2012)^{11, 12}, sendo essa escolha fundamental para a reprodução da dureza do tecido dentinário, fator que influencia no desgaste das limas utilizadas para esses preparos.

O raio de curvatura das raízes e a angulação da curvatura parecem ser outros fatores cruciais na falha dos instrumentos durante estes estudos²³. Dessa forma, quanto menor o raio de curvatura, menor será o número de ciclos necessários para que ocorram fraturas ou deformações na estrutura das limas. Com isso, foram selecionados para esta pesquisa molares extraídos que apresentaram ângulos de curvatura $< 35^\circ$, com base em valores médios encontrados na literatura existente^{23, 27, 28}. Além disso, A experiência do operador parece influenciar a presença de desgastes excessivos nos instrumentos e aplicações de tensões exageradas, sendo necessário treinamento adequado por parte dos operadores²².

Juntamente com o aprimoramento das técnicas cirúrgicas, os instrumentais disponíveis também foram modificados para permitir melhor modelagem dos canais radiculares, maior elasticidade e flexibilidade, reduzindo possíveis iatrogenias, como perfurações e desvios e proporcionando segurança em relação a possíveis fraturas. Os instrumentos utilizados neste estudo são de uso único, característica que poderia prevenir a deterioração do metal devido ao uso clínico prolongado, o que reduz, mas não elimina, o risco de fadiga ou fratura^{29, 30}.

Existem estudos na literatura que avaliam o efeito acumulativo de múltiplos usos clínicos na incidência de fratura ou deformações de instrumentos reciprocantes, como o de Burklein et al, 2012¹⁵, que demonstraram o uso seguro da lima Reciproc® R25 como instrumento único de preparo em 4 canais radiculares sem sofrer fratura, o estudo de Gavini et al, 2012³¹, que ressaltou que estes instrumentos resistem em média 1.787 ciclos, portanto o dobro do usual até a fratura e o de Carreño et al, 2012³², que mostrou que 66,6 % dos instrumentos Reciproc® R25 avaliados puderam ser usados em 4 molares inferiores, sem

deformação plástica ou fratura. Embora as recomendações do fabricante sejam baseadas na utilização da lima Reciproc® em um único dente, estudos como o de Park et al, 2014¹⁷ e de Caballero et al, 2015¹⁶ concluíram que as limas Reciproc® poderiam ser utilizadas em 5 ou 9 canais radiculares, respectivamente, sem deformações estruturais. Estes estudos, inclusive, serviram de embasamento para que fosse implementado um protocolo de utilização dessas limas na Clínica Odontológica da Universidade Federal do Ceará - Campus Sobral, visando reutilizar esses instrumentos de forma segura e responsável. No entanto, estes achados devem ser analisados de forma cuidadosa, pois deformações mecânicas e estruturais na superfície das limas podem diminuir sua eficiência no preparo mecânico devido a possível redução do poder de corte, se tornando ineficiente para sua principal função, a descontaminação dos canais. Tal fato pode ser comprovado por meio do desgaste significativo das lâminas de corte dos instrumentos Reciproc® observado por França (2013)³³, já a partir do terceiro uso, apoiando a recomendação do fabricante em utilizar apenas uma vez cada instrumento.

Outra característica que se acredita interferir na presença de deformações e fraturas de instrumentos endodônticos é o tipo de liga da qual são constituídos. As limas Reciproc® são feitas de ligas de NiTi M-Wire, desenvolvidas com um tratamento térmico, que proporciona maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica, no entanto, a literatura apresenta algumas contradições: instrumentos feitos com ligas M-Wire não apresentaram maior resistência à fadiga do que instrumentos de NiTi³⁴. Alguns estudos mostraram, por sua vez, que o tipo de movimento desenvolvido pela lima influencia também, isto é, o movimento reciprocante obteve melhor resultado em relação à resistência à fadiga do que o movimento rotatório contínuo^{11, 12, 35}.

Outros estudos abordam a avaliação da superfície de instrumentos de NiTi novos e usados, como a Reciproc®, por meio de MEV³⁶⁻³⁸. Entretanto, este é provavelmente um dos poucos estudos reportados até a presente data acerca da avaliação das características superficiais dos instrumentos de NiTi Reciproc® R25, investigando a presença de fissuras, crateras, farpas e esfregaço biológico, assemelhando-se ao de Carreño et al, 2012³², o qual investigou o instrumento Reciproc®, porém em quantidades diferentes de uso e com um protocolo diferente, já que neste estudo utilizou-se o implementado na UFC - Sobral, em que é realizado preparo cervical antes da lima reciprocante, sequencia também realizada no estudo de Maniglia-Ferreira et al, 2017³⁰.

Para a análise dos detritos, defeitos e deformações, utilizou-se o MEV, assim como

fizeram Barletta et al. (2006)³⁹ e Chianello et al. (2008)³⁷, visto ser esse método indicado para análise de superfícies, em aumentos variados, a fim de mostrar alterações invisíveis a olho nu ou aumento muito pequenos como os observados em lupas.

A presença de detritos nos instrumentos Reciproc® novos, resultantes do próprio processo de fabricação, assim como defeitos superficiais foram relatados. A presença de defeitos de fabricação em algumas limas observada em nosso estudo difere dos achados de Barletta et al, 2006³⁹ que não constataram tais defeitos em limas de NiTi analisadas antes do uso. Tripi et al, 2001⁴⁰ reportou haver encontrado defeitos em muitos dos instrumentos novos e Chianello et al, 2008³⁷ observou que nenhum instrumento novo de NiTi estava livre defeitos superficiais. É importante ressaltar que a presença de imperfeições encontradas sobre os instrumentos novos pode contribuir para a deterioração do instrumento ou podem culminar no aparecimento de defeitos maiores como comprovado por Carreño et al, 2012 em um estudo que comprovou que a presença de linhas de usinagem nas Reciproc® R25 durante a fabricação contribuíram para alterações maiores durante os usos, sendo localização de microfraturas. Assim defende-se que um acabamento mais bem feito poderia reduzir a deterioração dos instrumentos.

Apesar da amostra 11 de nossa pesquisa representar a Lima Reciproc® não utilizada desde a fabricação, essa amostra apresentou para os 2 avaliadores alterações a presença de esfregaço biológico em todos os aumentos observados em MEV. Tal achado reforça o estudo de Carreño et al, 2012³², que observaram marcas usuais de usinagem e detritos biológicos na superfície dos instrumentos.

A presença de debris e sujidades na superfície dos instrumentos podem levar a contaminação do campo operatório durante a terapia endodôntica, impedindo a sanitização eficiente dos condutos radiculares e podendo causar insucessos. No entanto, embora seja de determinante importância, parece existir pouca preocupação em se observar se tais insucessos advém da falta de limpeza adequada das limas endodônticas. A limpeza e a esterilização realizadas nas amostras deste estudo, assim como ocorrido nos estudos de Hanan et al, 2015²² e Restrepo et al, 2021²⁵, parecem não ter sido suficientes devendo-se dar maior atenção a este ponto em possíveis novos estudos.

Dos defeitos e deformações investigados neste estudo, foram mais prevalentes as fissuras e a presença de esfregaço biológico, seguidas das crateras e farpas (Tabela 2). Tais

defeitos foram produzidos provavelmente pelo próprio processo de fabricação e pelo atrito dos instrumentos com as paredes dos condutos radiculares, o que pode agravar os pequenos defeitos vindos já de fábrica²² ou apenas causá-los, corroborando com achados de estudos como de Caballero et al, 2015¹⁶.

Ao fim dessa pesquisa foi constatado que nenhum dos 11 instrumentos apresentou fratura diferentemente do relatado nos estudos de Kim e colaboradores^{11, 12}. Já no estudo de Caballero et al, 2015¹⁶ observou-se fraturas em limas Reciproc® R25 somente após serem utilizadas por 12 vezes. Isso provavelmente pode ter ocorrido em razão de que no presente estudo, os instrumentos terem sido usados em até 10 canais radiculares, porém somente após o preparo cervical com a lima OS 17.08 (MKlife, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil), o que reduz o risco de fratura como defendido no estudo de Maniglia-Ferreira et al, 2017³⁰. Além disso todos os preparos foram realizados por um único operador, especialista em Endodontia, com experiência no uso de sistemas reciprocantes. A experiência do operador tende a influenciar na resistência do instrumento à fratura e na redução de esforço desnecessário empregada ao instrumento^{3, 13}.

Além disso, neste estudo como em outros, foi possível identificar que todos os instrumentos apresentaram algum tipo de defeito dos que foram propostos para análise, ocorrendo de forma independente, ou seja, nem todo instrumento que apresentou farpa necessariamente apresentou cratera ou fissura, podendo eles ocorrerem de forma combinada, como em casos que as limas apresentaram tanto fissuras como esfregaço biológico, crateras e farpas também.

Os resultados da análise EDS mostraram que os instrumentos testados foram fabricados por ligas de NiTi com composição elementar variando de 45 a 53,5% em peso no teor de Ni e de 44,3 a 48,2% em peso no teor de Ti, valores próximos aos relatados por Spagnuolo et al, 2012⁴¹ e Restrepo et al, 2021²⁵ e que estão dentro da faixa de composição nominal especificada pela Sociedade Americana de Testes e Materiais para ligas de NiTi utilizadas para fabricar dispositivos médicos e implantes cirúrgicos.

Após o uso, a análise EDS indicou uma alteração microquímica nas amostras, caracterizada por uma tendência de redução da relação Ni/Ti e surgimento de outros elementos como cálcio e zircônio, possivelmente associados à presença de dentina e/ou detritos provenientes da instrumentação dos canais ou da contaminação externa (Zr)^{24, 25}.

As relações obtidas entre os minerais Ni/Ti, Ca/Ti, Ca/Ni não sofreram alterações estatísticas significantes de acordo com a região estudada e nem com os defeitos estruturais que existiam nessa área avaliada, ou seja, não existe uma associação entre a presença de maior ou menor quantidade de Ni, Ti ou Ca nas regiões que apresentaram fissuras, crateras ou farpas, sendo o contrário também uma verdade. Esses dados corroboram, portanto, com o estudo de Restrepo et al, 2021²⁵.

CONCLUSÃO

Sugere-se, após este estudo, a implementação de tratamentos superficiais das limas a fim de melhorar o acabamento, como por exemplo o polimento mecânico, o tratamento químico com soluções ácidas, pois todas as limas investigadas neste estudo, apresentaram detritos e grande percentual de deformações.

A tendência à redução na relação de Ni/Ti sofrida pelas limas de acordo com os ciclos de esterilização não se mostrou estatisticamente significativa. Além disso, as fissuras, crateras, farpas não influenciaram no aumento ou redução das relações de Ni/Ti, ou seja, mesmo que as fissuras, crateras e farpas causem destruição do tecido, elas não alteram a composição do metal de forma estatisticamente significativa, há perda de material de forma equilibrada.

A relação de Ca/Ni e Ca/Ti não varia de acordo com a presença de fissuras, crateras ou farpas. Embora na presença de rugosidades possa reter mais cálcio, esse dado não foi estatisticamente significativo.

Embora esteja claro que o múltiplo uso das limas pode sim alterar sua composição microestrutural e microquímica, isso não é determinante para uma maior fragilidade do instrumento desde que sejam respeitadas suas limitações em canais curvos e atrésicos e que as etapas operatórias sejam realizadas de forma adequada.

REFERÊNCIAS

1. Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 2002;35(7):582–9.
2. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30(8):559–67.
3. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008;41(4):339–44.
4. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14(7):346–51.
5. Gambarini G, Gergi R, Naaman A, Osta N, Al Sudani D. Cyclic fatigue analysis of twisted file rotary NiTi instruments used in reciprocating motion. *Int Endod J* 2012;45(9):802–
6. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 2001;14(5):324–33.
7. Bryant ST, Thompson SA, al-Omari MA, Dummer PM. Shaping ability of Profile rotary nickel-titanium instruments with ISO sized tips in simulated root canals: Part 1. *Int Endod J* 1998;31(4):275–81.
8. Ruddle CJ, Machtou P, West JD. The shaping movement: fifth-generation technology. *Dent Today* 2013;32(4):94, 96–9.
9. Schwartz S, McSpadden J. The Quantec rotary nickel titanium instrumentation system. *Endod Prac* 1999;2(1):14–9.
10. Arias A, Perez-Higueras JJ, de la Macorra JC. Differences in cyclic fatigue resistance at apical and coronal levels of Reciproc and WaveOne new files. *J Endod* 2012;38(9):1244–8.
11. Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod* 2012;38(4):541–4.
12. Kim JY, Cheung GS, Park SH, Ko DC, Kim JW, Kim HC. Effect from cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files on torsional resistance. *J Endod* 2012;38(4):527–30.
13. Lopes HP, Vieira MV, Elias CN, Siqueira Jr JF, Mangelli M, Lopes WS, et al. Fatigue life of WaveOne and ProTaper instruments operated in reciprocating or continuous rotation movements and subjected to dynamic and static tests. *Endodontic Practice Today* 2013;7(3).

14. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, et al. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2008;34(8):1003–5.
15. Burklein S, Hinschitza K, Dammaschke T, Schafer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J* 2012;45(5):449–61.
16. Caballero H, Rivera F, Salas H. Scanning electron microscopy of superficial defects in Twisted files and Reciproc nickel-titanium files after use in extracted molars. *Int Endod J* 2015;48(3):229–35.
17. Park SK, Kim YJ, Shon WJ, You SY, Moon YM, Kim HC, et al. Clinical efficiency and reusability of the reciprocating nickel-titanium instruments according to the root canal anatomy. *Scanning* 2014;36(2):246–51.
18. Troian CH, So MV, Figueiredo JA, Oliveira EP. Deformation and fracture of RaCe and K3 endodontic instruments according to the number of uses. *Int Endod J* 2006;39(8):616–25.
19. Pedulla E, Grande NM, Plotino G, Palermo F, Gambarini G, Rapisarda E. Cyclic fatigue resistance of two reciprocating nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. *Int Endod J* 2013;46(2):155–9.
20. Plotino G, Grande NM, Porciani PF. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. *Int Endod J* 2015;48(2):199–205.
21. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J* 2012;45(7):614–8.
22. Hanan AR, Meireles DA, Sponchiado Junior EC, Hanan S, Kuga MC, Bonetti Filho I. Surface characteristics of reciprocating instruments before and after use--a SEM analysis. *Braz Dent J* 2015;26(2):121–7.
23. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL, Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997;23(2):77–85.
24. Kalyoncuoglu E, Keskin C, Uzun I, Bengu AS, Guler B. Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectrophotometry analysis of reciprocating and continuous rotary nickel-titanium instruments following root canal retreatment. *J Oral Sci* 2016;58(3):401–6.
25. Restrepo-Restrepo FA, Holguin-Vasquez VA, Canas-Jimenez SJ, Villa-Machado PA, Ochoa-Soto S, Ossa-Orozco CP, et al. Microstructural, microchemical, and mechanical changes associated with the clinical reuse of two nickel-titanium endodontic instruments. *Dent Res J (Isfahan)* 2021;18:48.
26. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam

computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod* 2008;34(3):273–9.

27. Kosti E, Zinelis S, Molyvdas I, Lambrianidis T. Effect of root canal curvature on the failure incidence of ProFile rotary Ni-Ti endodontic instruments. *International endodontic journal* 2011;44 10:917–25.

28. Zelada G, Varela P, Martín B, Bahillo J, Magán F, Ahn S. The effect of rotational speed and the curvature of root canals on the breakage of rotary endodontic instruments. *Journal of endodontics* 2002;28 7:540–42.

29. Bueno CSP, Oliveira DP, Pelegrine RA, Fontana CE, Rocha DGP, Bueno C. Fracture Incidence of WaveOne and Reciproc Files during Root Canal Preparation of up to 3 Posterior Teeth: A Prospective Clinical Study. *J Endod* 2017;43(5):705–08.

30. Maniglia-Ferreira C, de Almeida Gomes F, Ximenes T, Neto MAT, Arruda TE, Ribamar GG, et al. Influence of reuse and cervical preflaring on the fracture strength of reciprocating instruments. *Eur J Dent* 2017;11(1):41–47.

31. Gavini G, Caldeira CL, Akisue E, Candeiro GTdM, Kawakami DAS. Resistance to Flexural Fatigue of Reciproc R25 Files under Continuous Rotation and Reciprocating Movement. *Journal of Endodontics* 2012;38(5):684–87.

32. Carreño DNR. Evaluación bajo microscopía electrónica de barrido de la superficie de instrumentos Reciproc® posterior al uso. Caracas Zelândia: Universidade Central da Venezuela; 2012.

33. França RC. Avaliação do desgaste das lâminas de corte do sistema Reciproc através da utilização do microscópio eletrônico de varredura MEV. São Paulo: Faculdade de Odontologia; 2013.

34. Figueiredo AM, Modenesi P, Buono V. Low-cycle fatigue life of superelastic NiTi wires. *International Journal of Fatigue* 2009;31(4):751–58.

35. Kiefner P, Ban M, De-Deus G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? *Int Endod J* 2014;47(5):430–6.

36. Alapati SB, Brantley WA, Iijima M, Clark WA, Kovarik L, Buie C, et al. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *J Endod* 2009;35(11):1589–93.

37. Chianello G, Specian VL, Hardt LC, Raldi DP, Lage-Marques JL, Habitante SM. Surface finishing of unused rotary endodontic instruments: a SEM study. *Braz Dent J* 2008;19(2):109–13.

38. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files

after clinical use. *J Endod* 2000;26(3):161–5.

39. Barletta FB, de Oliveira EPM, Vier-Pelisser FV. Sem evaluation of remaining debris and wear of nickel-titanium files comparing to the number of use. *Dental Tribune International* 2006;6(25):150–57.

40. Tripi TR, Bonaccorso A, Tripi V, Condorelli GG, Rapisarda E. Defects in GT rotary instruments after use: an SEM study. *J Endod* 2001;27(12):782–5.

41. Spagnuolo G, Ametrano G, D'Anto V, Rengo C, Simeone M, Riccitiello F, et al. Effect of autoclaving on the surfaces of TiN -coated and conventional nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2012;45(12):1148–55.

4 CONCLUSÃO

Este estudo *ex vivo* avaliou a ultraestrutura de limas Reciproc® R25 submetidas a diferentes ciclos de instrumentação em molares inferiores, utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS). Os resultados demonstraram que, mesmo após lavagem e esterilização, a presença de esfregaço biológico residual foi universal em todas as limas analisadas, tanto experimentais quanto controle. Além disso, as limas submetidas aos ciclos de instrumentação apresentaram uma alta incidência de fissuras, crateras e farpas, evidenciando que o uso e os processos de reprocessamento contribuem para o surgimento desses defeitos.

A análise microquímica por EDS revelou uma redução estatisticamente significativa na proporção de Ni/Ti em função dos ciclos de instrumentação e esterilização, indicando desgaste estrutural e provável perda de Níquel, mais acentuada na região da ponta do instrumento. Contudo, as análises estatísticas não demonstraram uma correlação significativa entre as proporções de Ni/Ti, Ca/Ni e Ca/Ti e a presença de fissuras, crateras ou farpas. Conclui-se que, embora os ciclos de uso causem alterações morfológicas e na composição elementar das limas Reciproc®, essas mudanças específicas na proporção de elementos químicos não influenciam diretamente na ocorrência dos defeitos microestruturais observados.

REFERÊNCIAS

Arias, A.; Perez-Higueras, J. J.; De La Macorra, J. C. Differences in cyclic fatigue resistance at apical and coronal levels of Reciproc and WaveOne new files. **J Endod**, 38, n. 9, p. 1244–1248, Sep 2012.

Bergmans, L.; Van Cleynenbreugel, J.; Wevers, M.; Lambrechts, P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. **Am J Dent**, 14, n. 5, p. 324–333, Oct 2001.

Bryant, S. T.; Thompson, S. A.; Al-Omari, M. A.; Dummer, P. M. Shaping ability of Profile rotary nickel-titanium instruments with ISO sized tips in simulated root canals: Part 1. **Int Endod J**, 31, n. 4, p. 275–281, Jul 1998.

Burklein, S.; Hinchitza, K.; Dammaschke, T.; Schafer, E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. **Int Endod J**, 45, n. 5, p. 449–461, May 2012.

Caballero, H.; Rivera, F.; Salas, H. Scanning electron microscopy of superficial defects in Twisted files and Reciproc nickel-titanium files after use in extracted molars. **Int Endod J**, 48, n. 3, p. 229–235, Mar 2015.

Gambarini, G.; Gergi, R.; Naaman, A.; Osta, N. *et al.* Cyclic fatigue analysis of twisted file rotary NiTi instruments used in reciprocating motion. **Int Endod J**, 45, n. 9, p. 802–806, Sep 2012.

Gambarini, G.; Grande, N. M.; Plotino, G.; Somma, F. *et al.* Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. **J Endod**, 34, n. 8, p. 1003–1005, Aug 2008.

Gao, Y.; Gutmann, J. L.; Wilkinson, K.; Maxwell, R. *et al.* Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. **J Endod**, 38, n. 3, p. 398–401, Mar 2012.

Hanan, A. R.; Meireles, D. A.; Sponchiado Junior, E. C.; Hanan, S. *et al.* Surface characteristics of reciprocating instruments before and after use--a SEM analysis. **Braz Dent J**, 26, n. 2, p. 121–127, Mar–Apr 2015.

Hartmann, M. S.; Barletta, F. B.; Camargo Fontanella, V. R.; Vanni, J. R. Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography. **J Endod**, 33, n. 8, p. 962–965, Aug 2007.

Johnson, E.; Lloyd, A.; Kuttler, S.; Namerow, K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. **J Endod**, 34, n. 11, p. 1406–1409, Nov 2008.

Kalyoncuoglu, E.; Keskin, C.; Uzun, I.; Bengu, A. S. *et al.* Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectrophotometry analysis of reciprocating and continuous rotary nickel-titanium instruments following root canal retreatment. **J Oral Sci**, 58, n. 3, p. 401–406, 2016.

Kim, H. C.; Kwak, S. W.; Cheung, G. S.; Ko, D. H. *et al.* Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. **J Endod**, 38, n. 4, p. 541–544, Apr 2012.

Kim, J. Y.; Cheung, G. S.; Park, S. H.; Ko, D. C. *et al.* Effect from cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files on torsional resistance. **J Endod**, 38, n. 4, p. 527–530, Apr 2012.

Lopes, H. P.; Vieira, M. V.; Elias, C. N.; Siqueira Jr, J. F. *et al.* Fatigue life of WaveOne and ProTaper instruments operated in reciprocating or continuous rotation movements and subjected to dynamic and static tests. **Endodontic Practice Today**, 7, n. 3, 2013.

Mayer, B. E.; Peters, O. A.; Barbakow, F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. **Int Endod J**, 35, n. 7, p. 582–589, Jul 2002.

Meireles, D. A.; Bastos, M. M.; Marques, A. A.; Garcia Lda, F. *et al.* Endodontic treatment of

mandibular molar with root dilaceration using Reciproc single-file system. **Restor Dent Endod**, 38, n. 3, p. 167–171, Aug 2013.

Park, S. K.; Kim, Y. J.; Shon, W. J.; You, S. Y. *et al.* Clinical efficiency and reusability of the reciprocating nickel-titanium instruments according to the root canal anatomy. **Scanning**, 36, n. 2, p. 246–251, Mar–Apr 2014.

Peters, O. A. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. **J Endod**, 30, n. 8, p. 559–567, Aug 2004.

Restrepo-Restrepo, F. A.; Holguin-Vasquez, V. A.; Canas-Jimenez, S. J.; Villa-Machado, P. A. *et al.* Microstructural, microchemical, and mechanical changes associated with the clinical reuse of two nickel-titanium endodontic instruments. **Dent Res J (Isfahan)**, 18, p. 48, 2021.

Ruddle, C. J.; Machtou, P.; West, J. D. The shaping movement: fifth-generation technology. **Dent Today**, 32, n. 4, p. 94, 96–99, Apr 2013.

Schwartz, S.; Mcspadden, J. The Quantec rotary nickel titanium instrumentation system. **Endod Prac**, 2, n. 1, p. 14–19, Feb 1999.

Shah, M.; Patel, M.; Amin, A.; Kharod, P. *et al.* Fracture Resistance of WaveOne Rotary File Used In Reciprocating Motion. **Bhavnagar University Journal Of Dentistry**, 3, n. 1, p. 14–18, 2013.

Spagnuolo, G.; Ametrano, G.; D'anto, V.; Rengo, C. *et al.* Effect of autoclaving on the surfaces of TiN -coated and conventional nickel-titanium rotary instruments. **Int Endod J**, 45, n. 12, p. 1148–1155, Dec 2012.

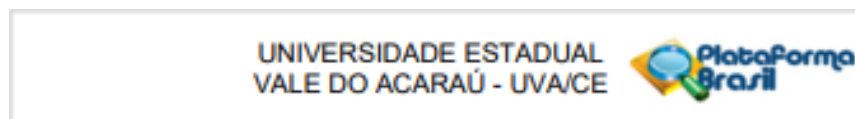
Troian, C. H.; So, M. V.; Figueiredo, J. A.; Oliveira, E. P. Deformation and fracture of RaCe and K3 endodontic instruments according to the number of uses. **Int Endod J**, 39, n. 8, p. 616–625, Aug 2006.

Walia, H. M.; Brantley, W. A.; Gerstein, H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. **J Endod**, 14, n. 7, p. 346–351, Jul 1988.

Yared, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations.
Int Endod J, 41, n. 4, p. 339–344, Apr 2008.

ANEXOS

ANEXO 1 – PARECER CONSUBSTANCIADO



COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO ANALÍTICA E ESTRUTURAL DE LIMAS RECIPROC APÓS SEREM SUBMETIDAS A DIFERENTES CICLOS DE USO PARA PREPAROS EM MOLARES INFERIORES: UM ESTUDO EX VIVO.

Pesquisador: SILVANA JESSICA CARLOS DA SILVA

Versão: 1

CAAE: 83659624.0.0000.5053

Instituição Proponente:

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante: 117296/2024

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Informamos que o projeto AVALIAÇÃO ANALÍTICA E ESTRUTURAL DE LIMAS RECIPROC APÓS SEREM SUBMETIDAS A DIFERENTES CICLOS DE USO PARA PREPAROS EM MOLARES INFERIORES: UM ESTUDO EX VIVO, que tem como pesquisador responsável SILVANA JESSICA CARLOS DA SILVA, foi recebido para análise ética no CEP Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA/CE em 03/10/2024 às 10:23.

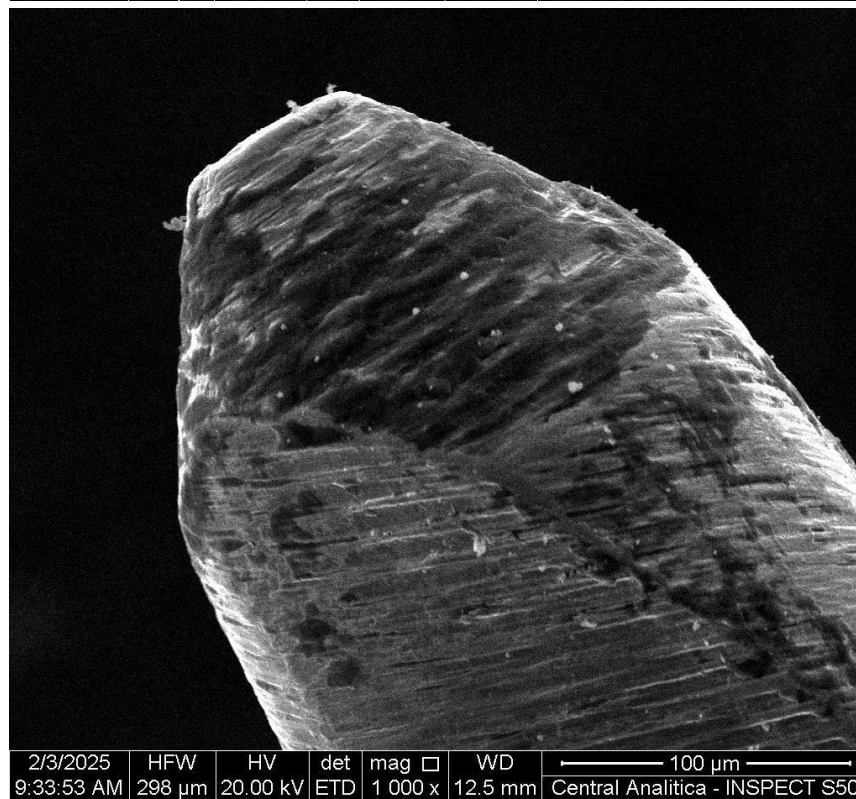
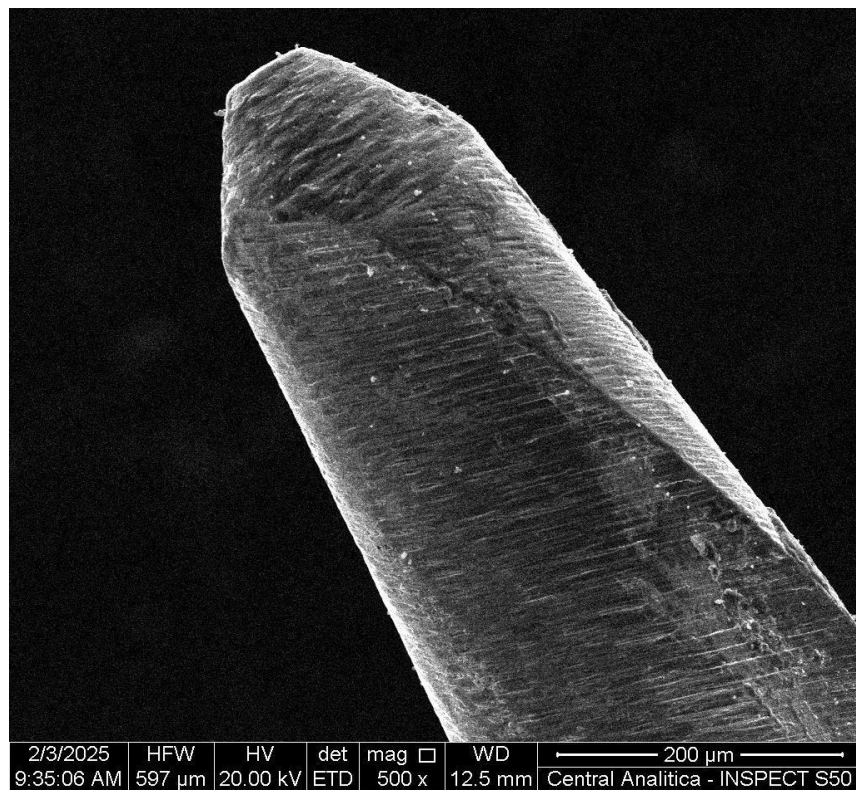
Endereço: Av Comandante Maurocílio Rocha Ponte, 150
Bairro: Derby **CEP:** 62.041-040
UF: CE **Município:** SOBRAL
Telefone: (88)3677-4255 **Fax:** (88)3677-4242 **E-mail:** cep_uva@uva.br

APÊNDICES

Apêndice 1: Rx inicial dos dentes utilizados na pesquisa

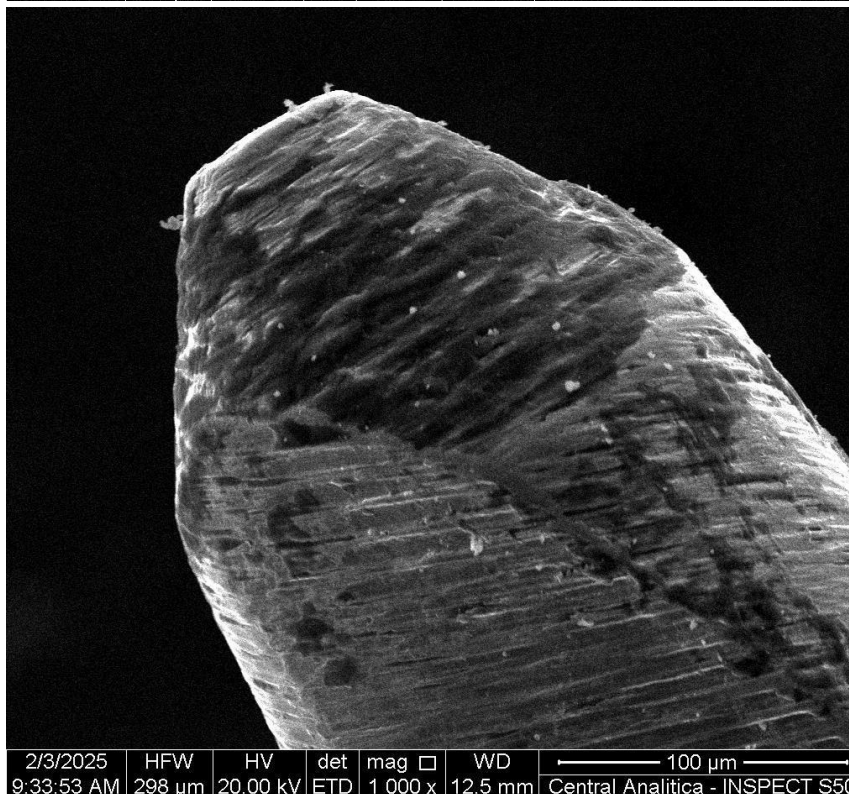
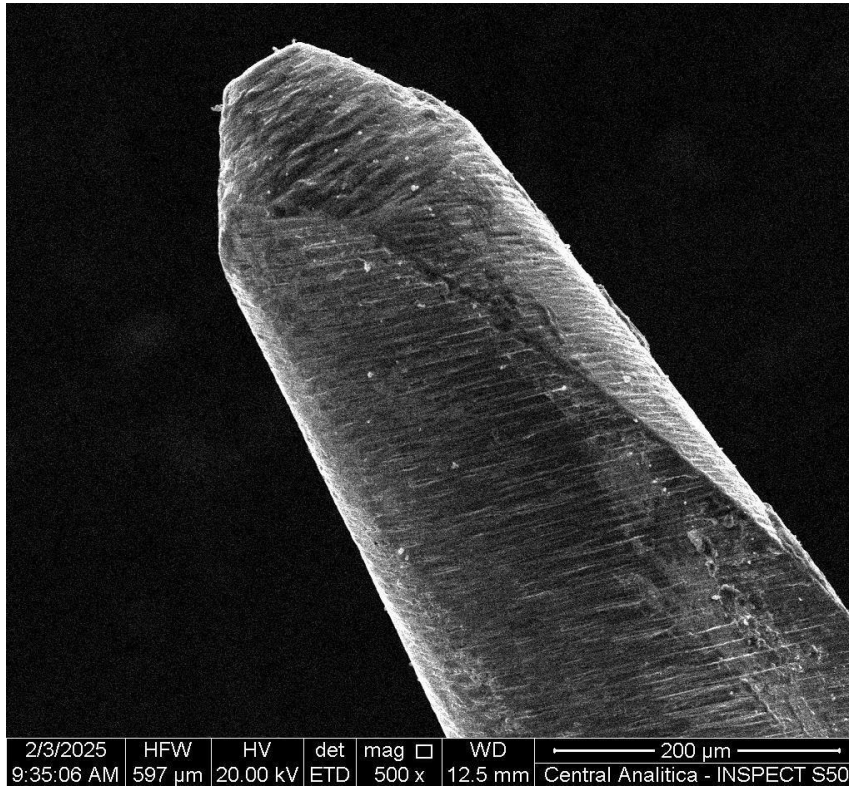


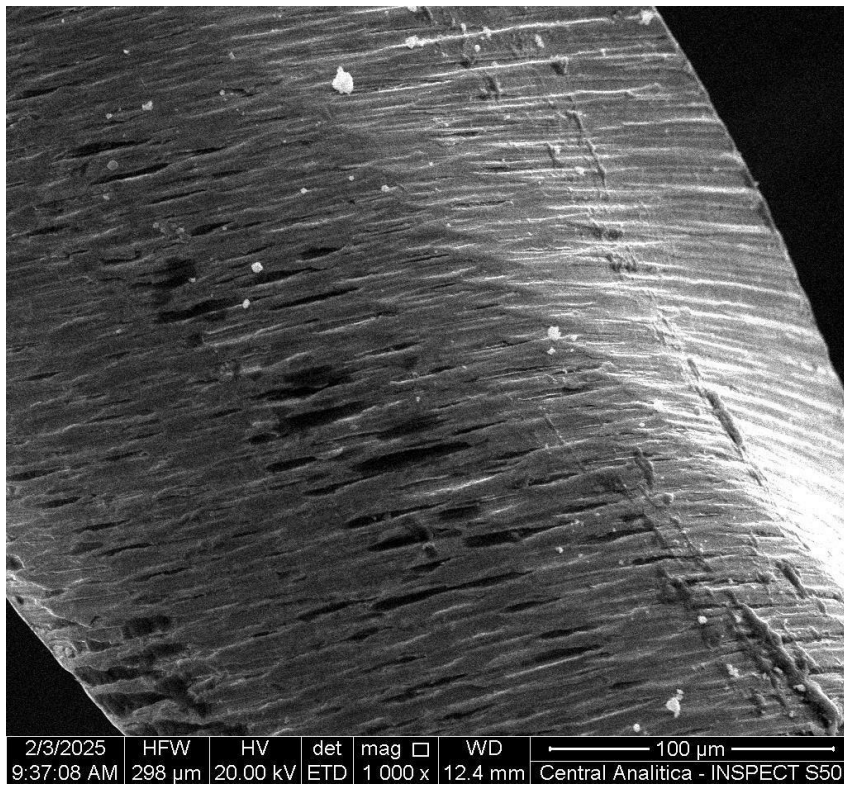
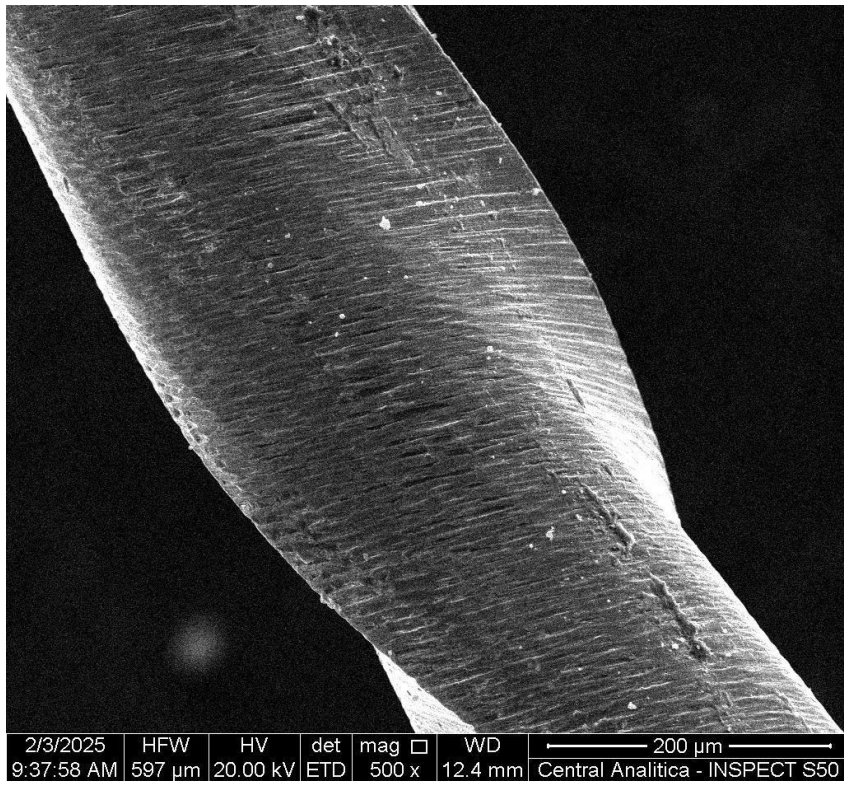
Apêndice 2: Imagens obtidas pelo MEV



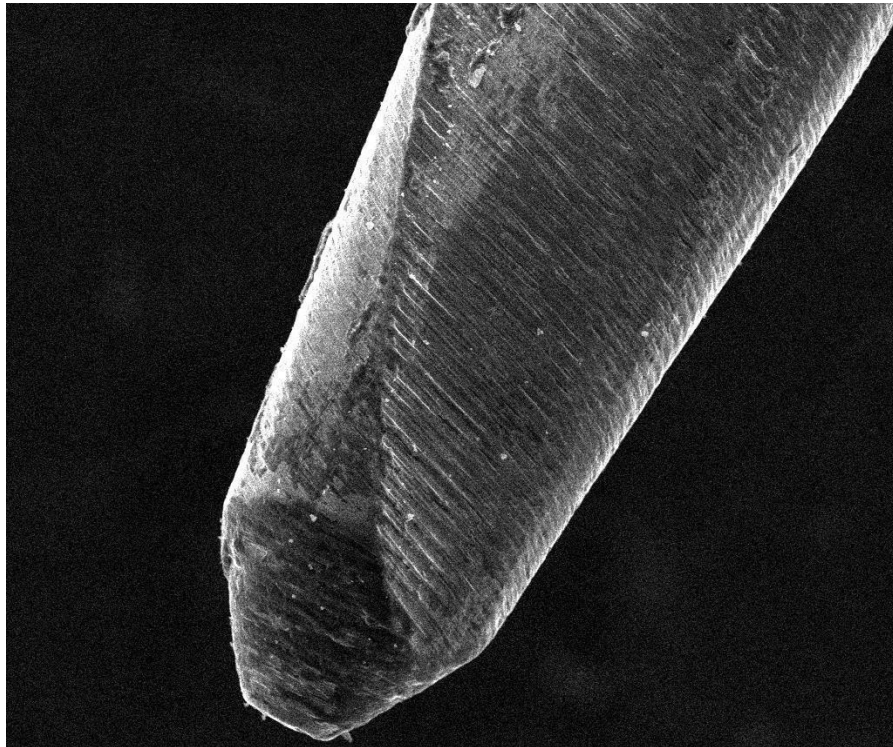
Apêndice 2: Imagens obtidas pelo MEV

- Amostra 1

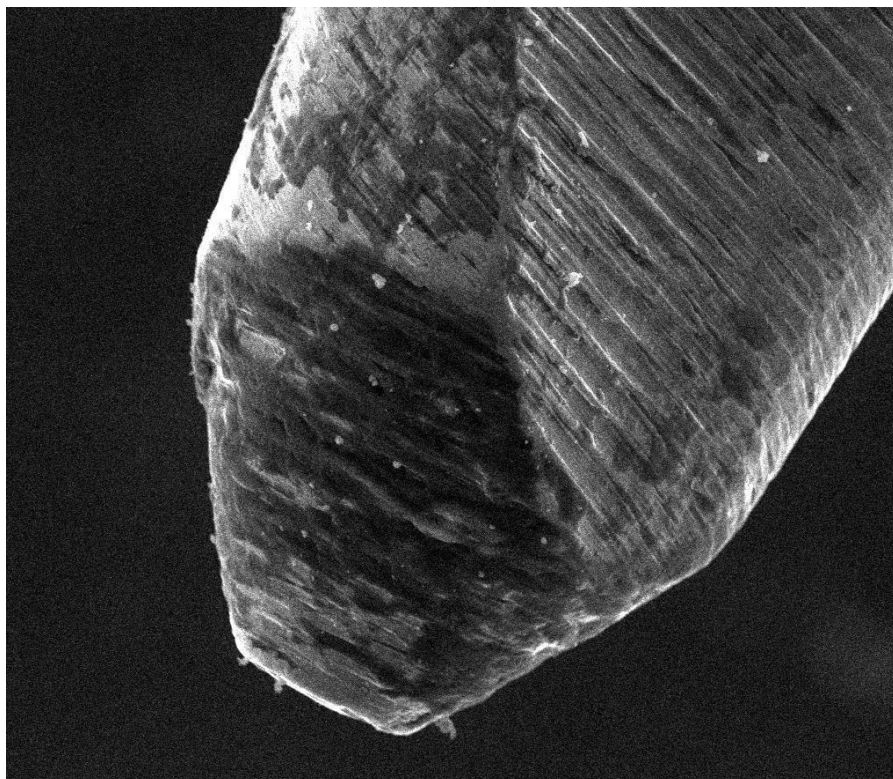




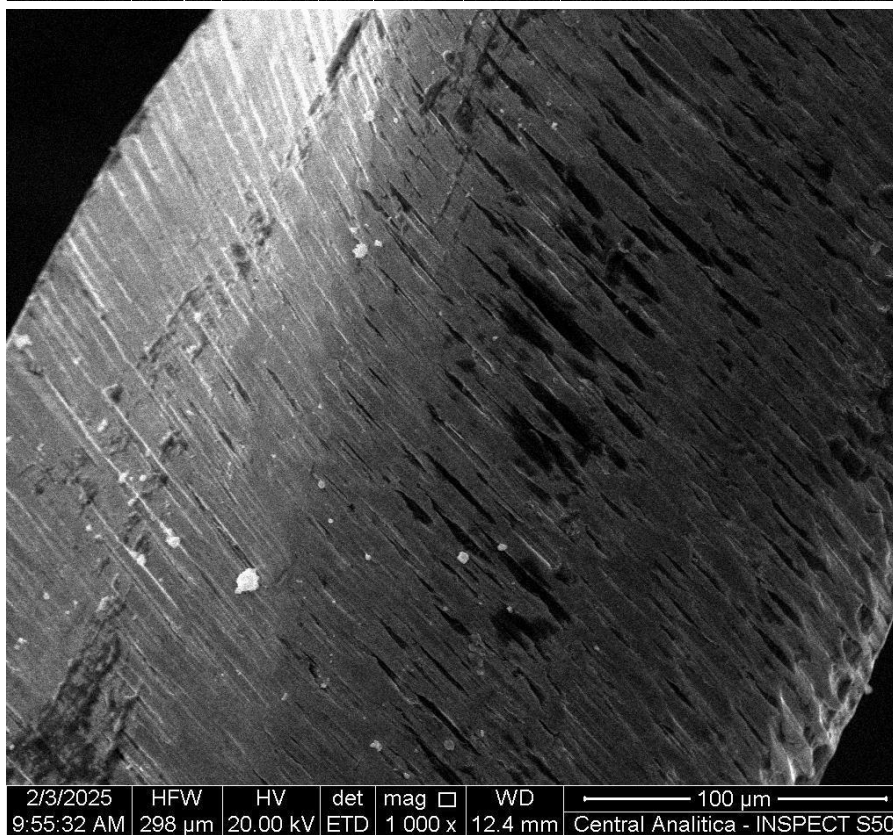
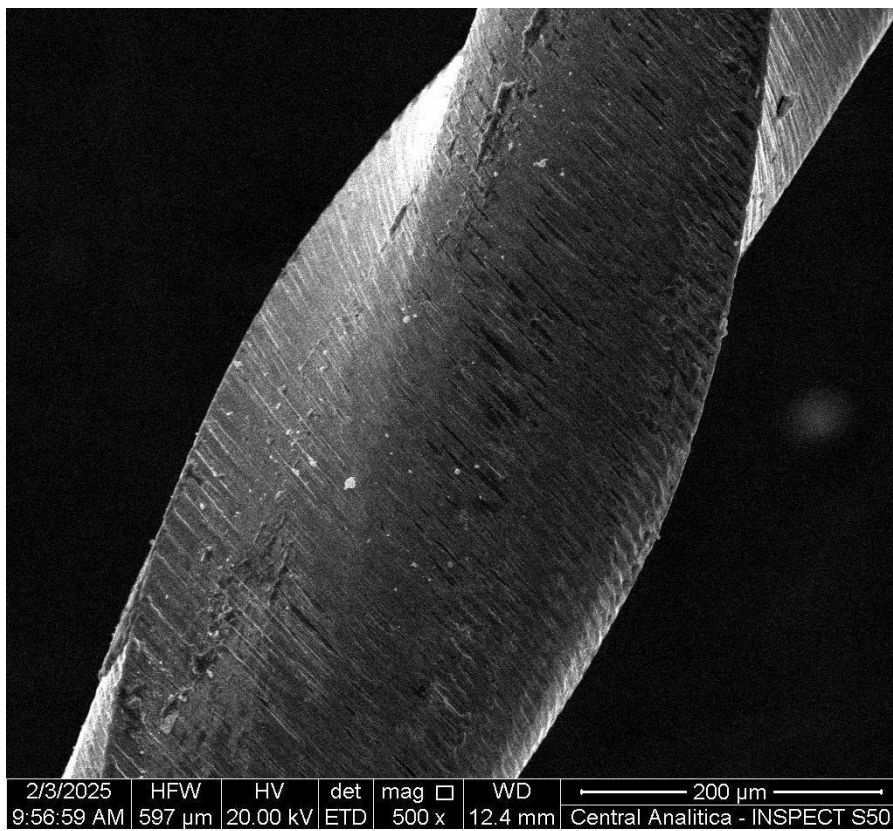
- Amostra 2



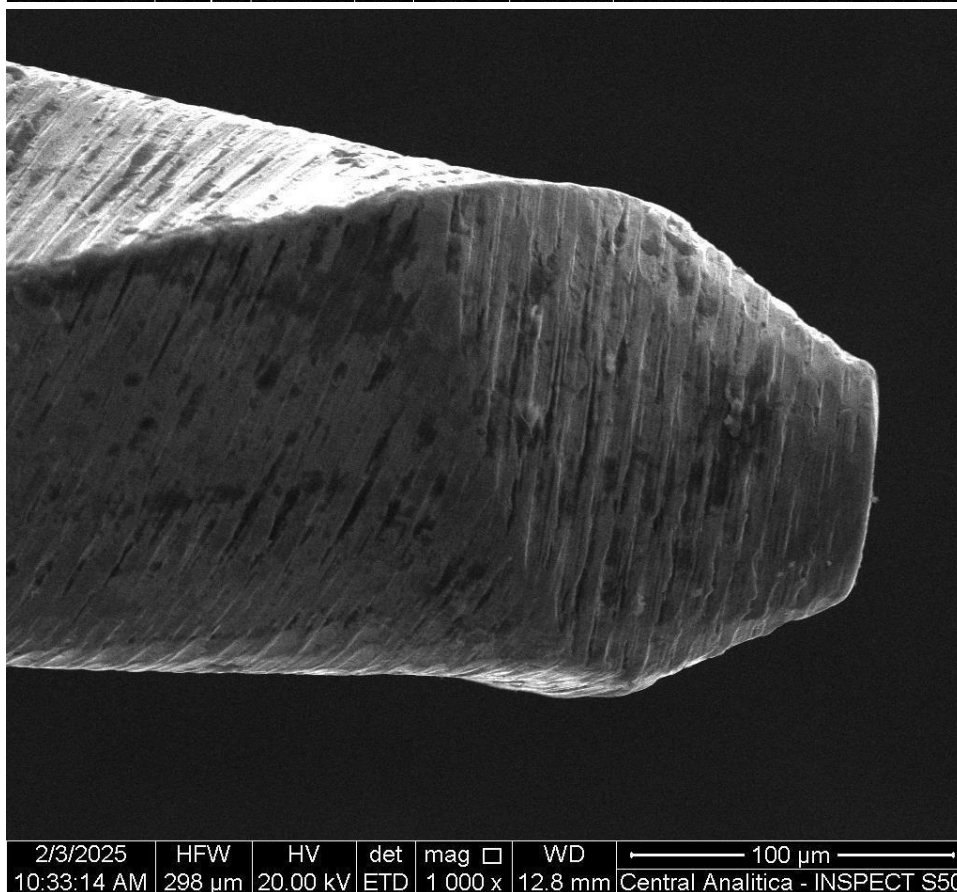
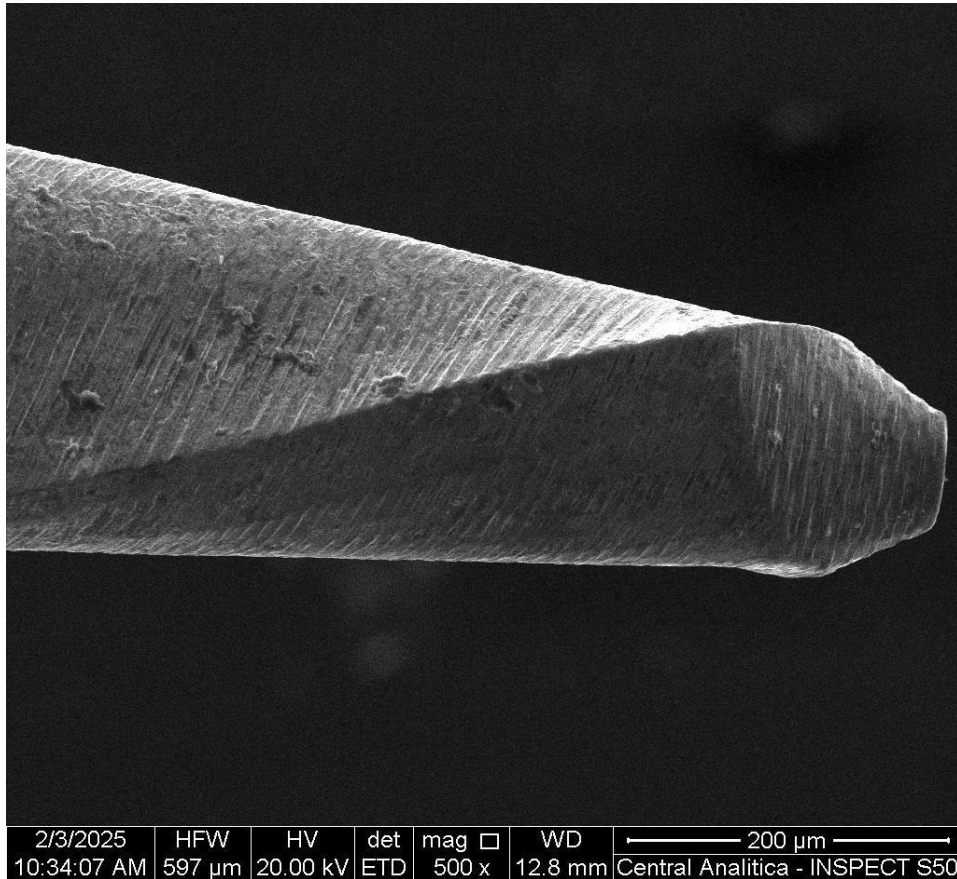
2/3/2025	HFW	HV	det	mag	□	WD	200 μm
9:52:39 AM	597 μm	20.00 kV	ETD	500 x		12.4 mm	Central Analítica - INSPECT S50

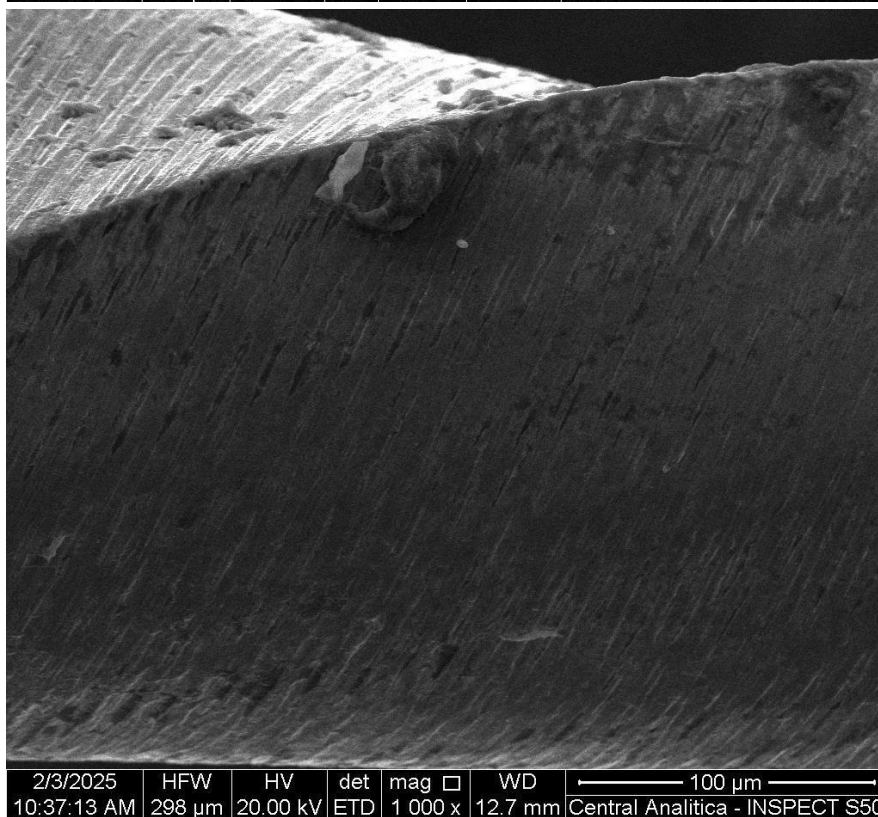
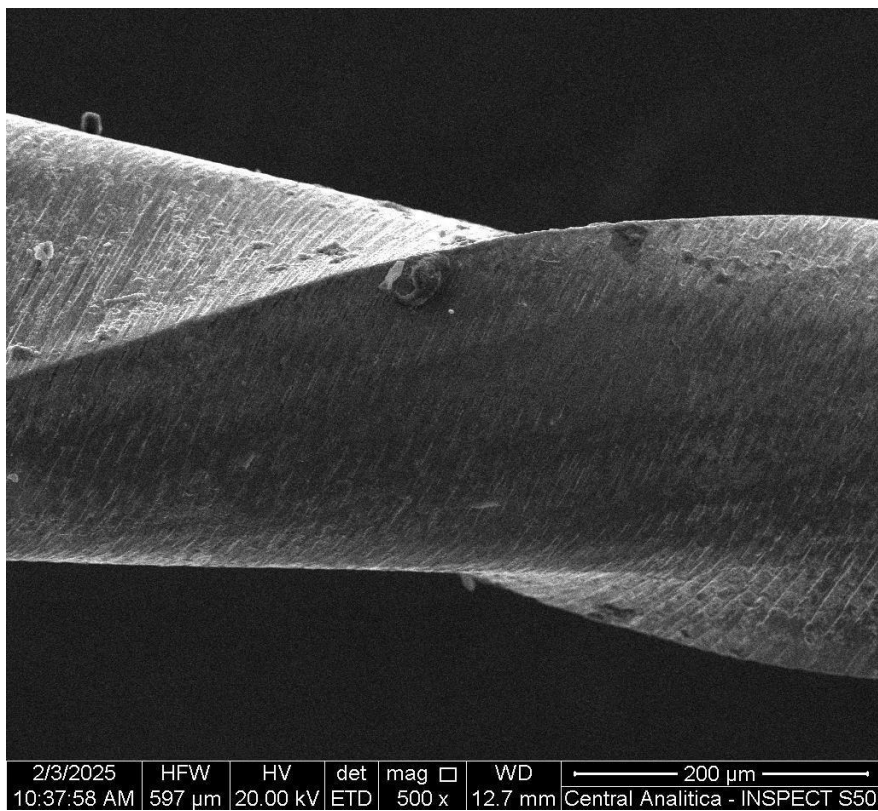


2/3/2025	HFW	HV	det	mag	□	WD	100 μm
9:51:38 AM	298 μm	20.00 kV	ETD	1 000 x		12.4 mm	Central Analítica - INSPECT S50

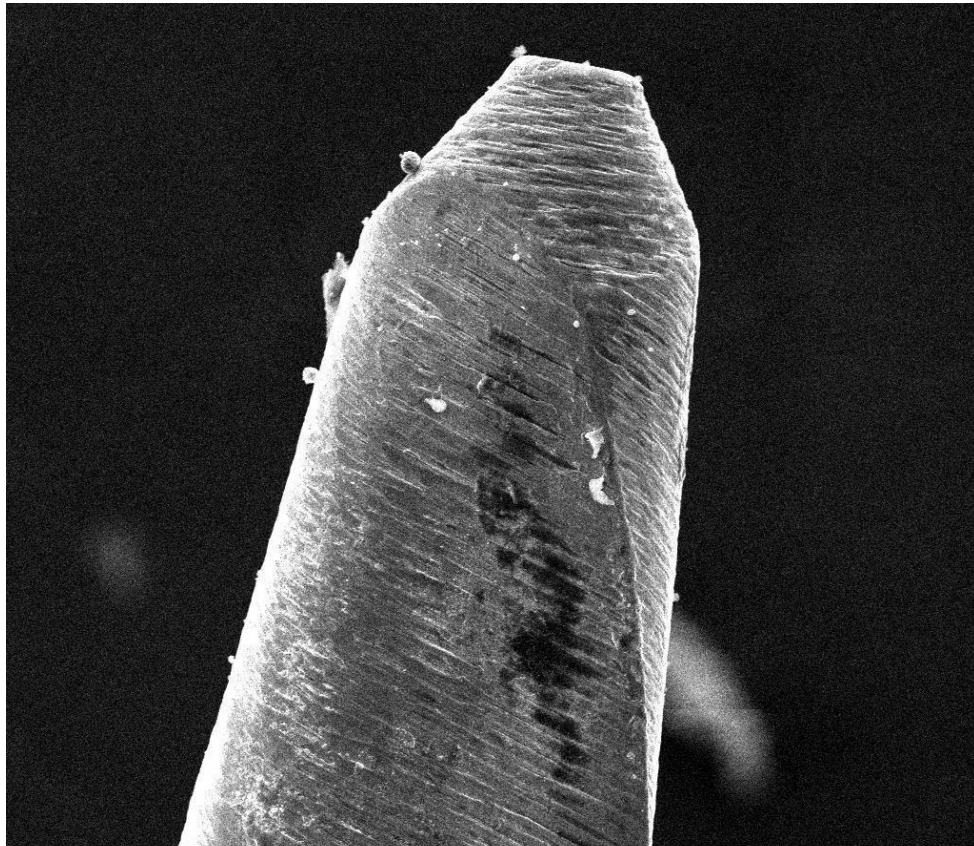


- Amostra 3

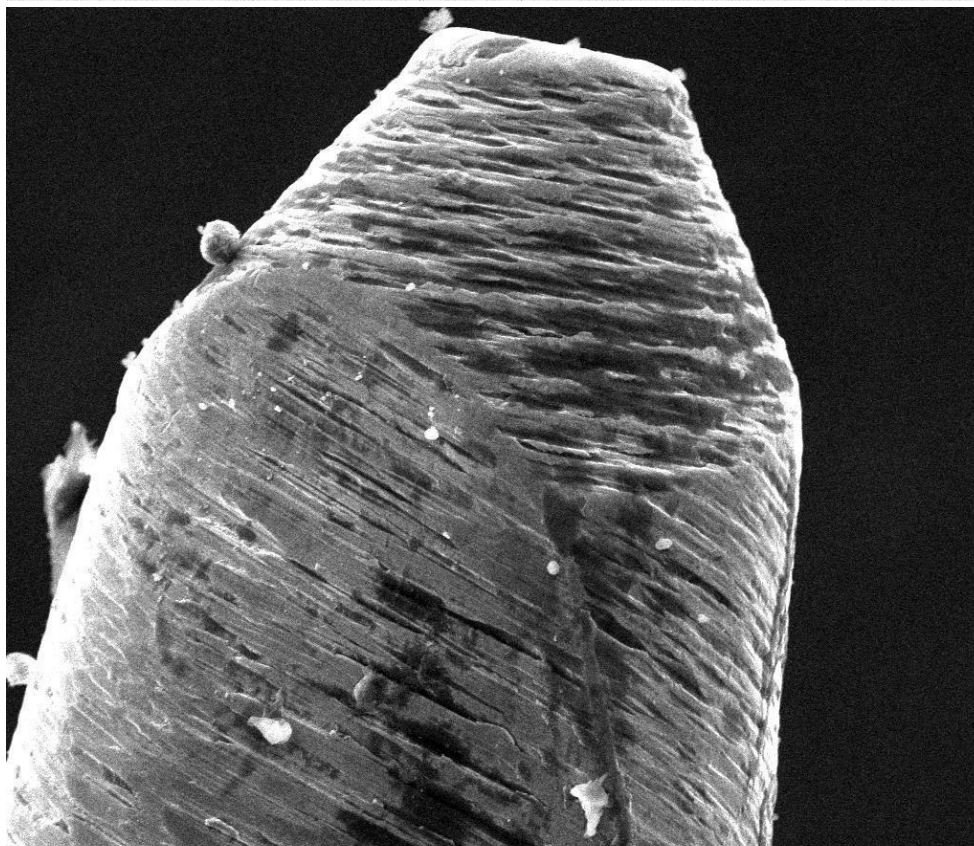




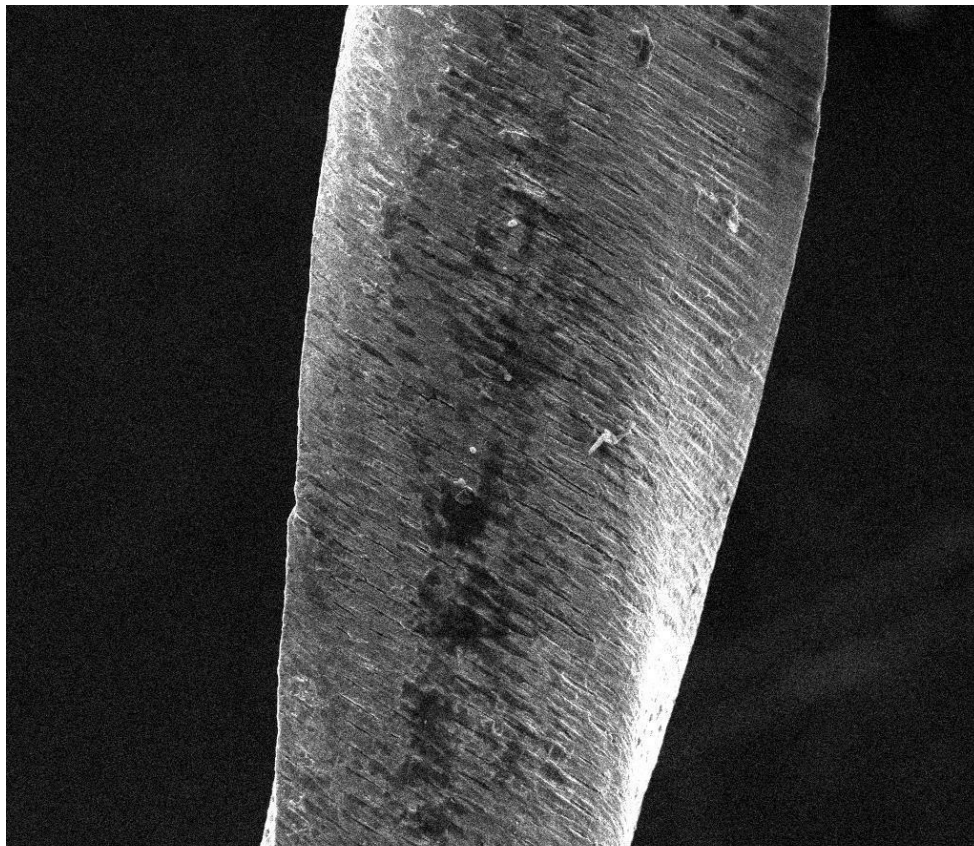
- Amostra 4



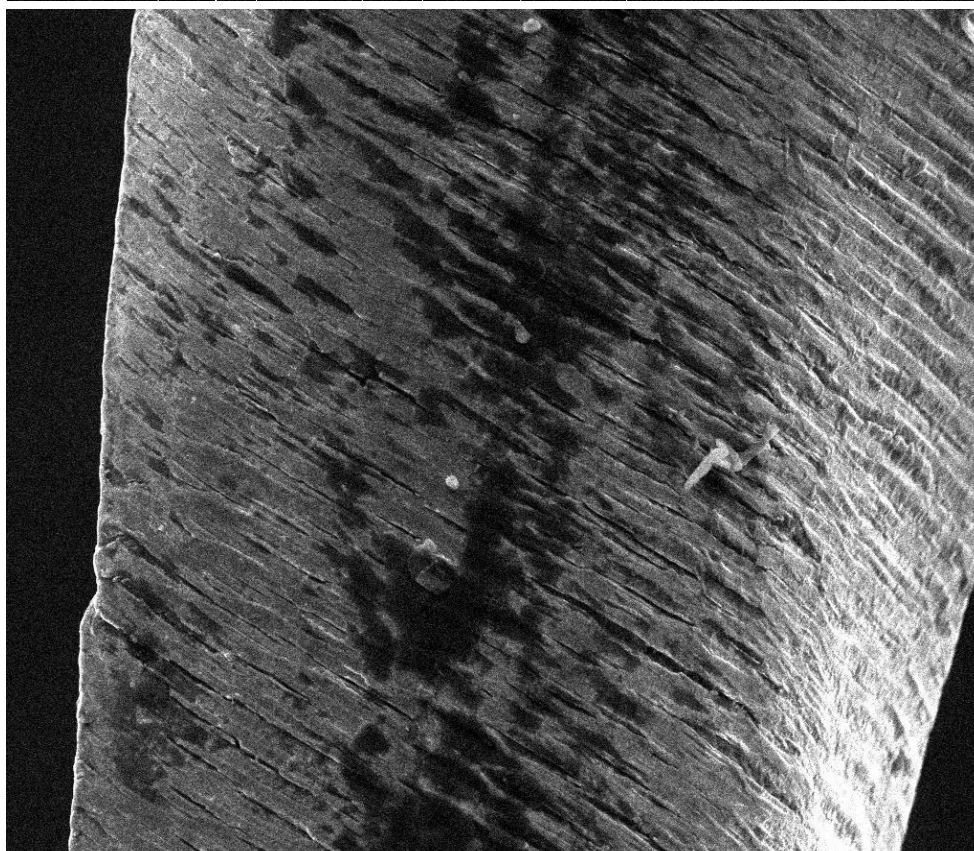
2/3/2025	HFV	HV	det	mag	WD	200 μ m
10:48:09 AM	597 μ m	20.00 kV	ETD	500 x	12.8 mm	Central Analitica - INSPECT S50



2/3/2025	HFV	HV	det	mag	WD	100 μ m
10:47:20 AM	298 μ m	20.00 kV	ETD	1 000 x	12.8 mm	Central Analitica - INSPECT S50

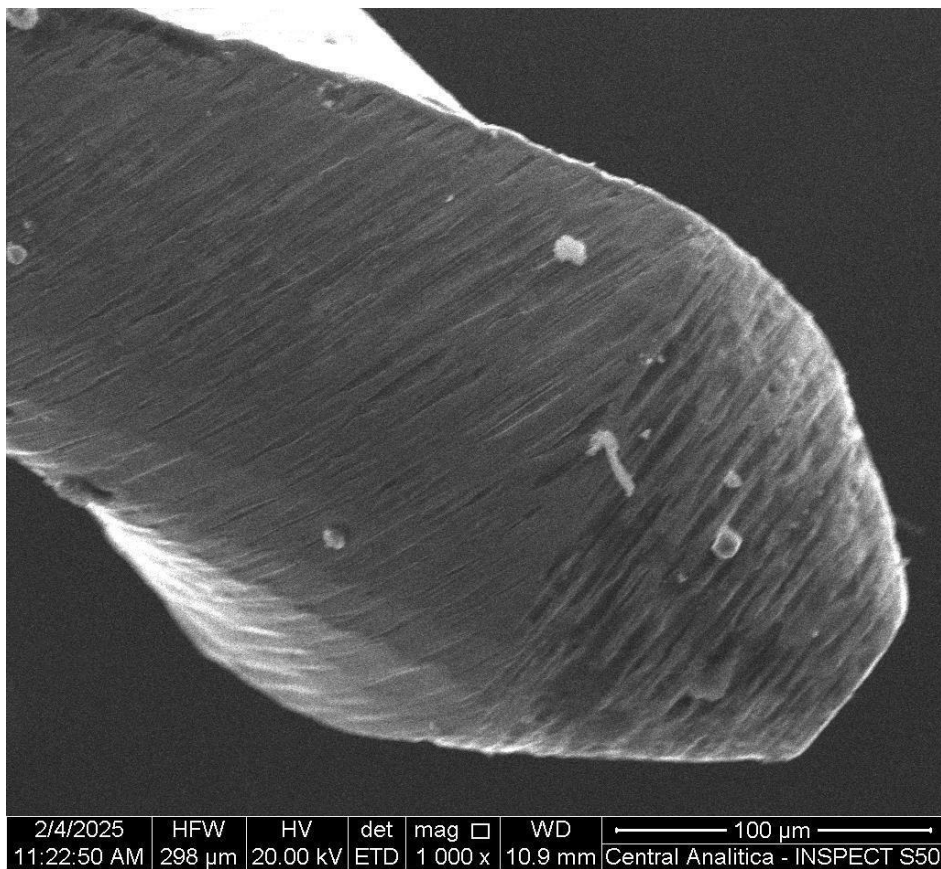
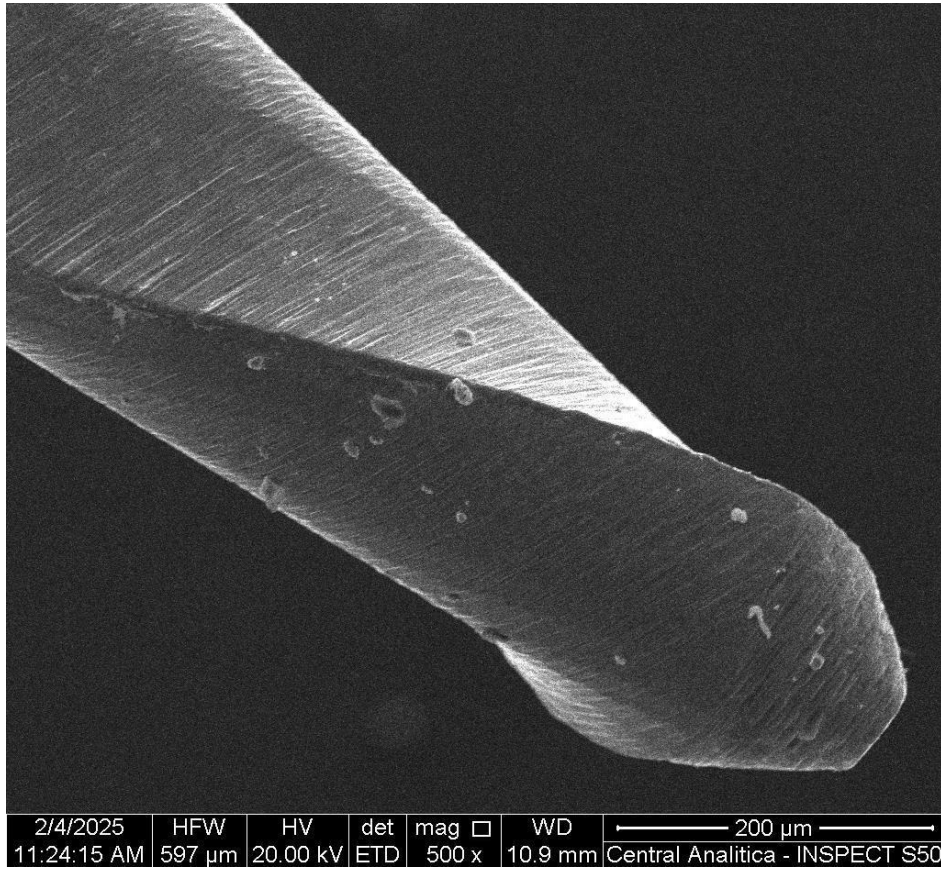


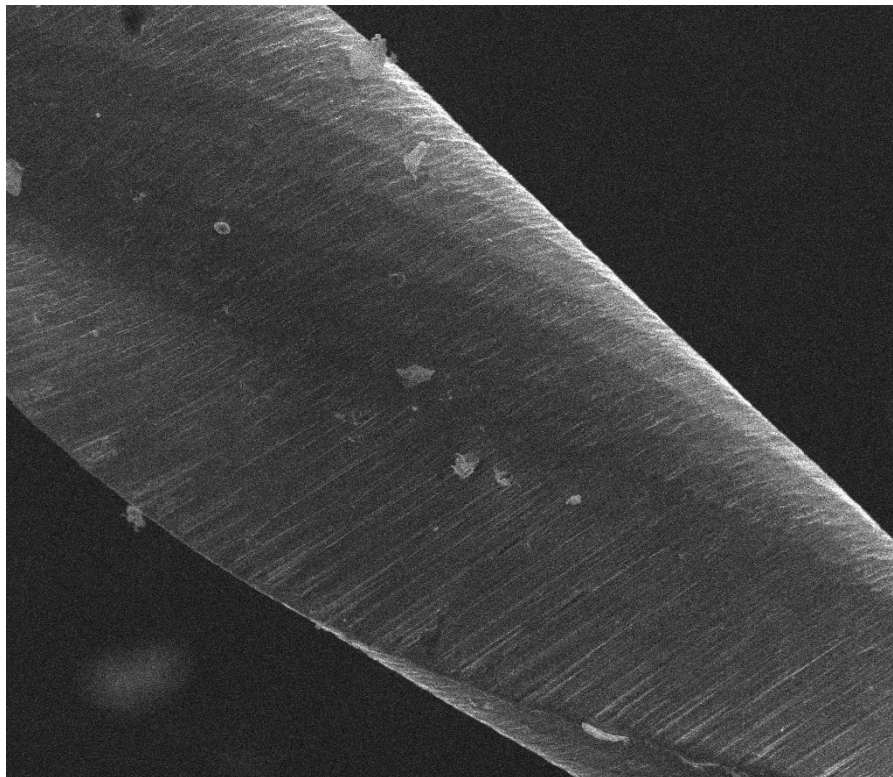
2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	200 μ m
10:51:44 AM	597 μ m	20.00 kV	ETD	500 x	12.8 mm	Central Analytica - INSPECT S50



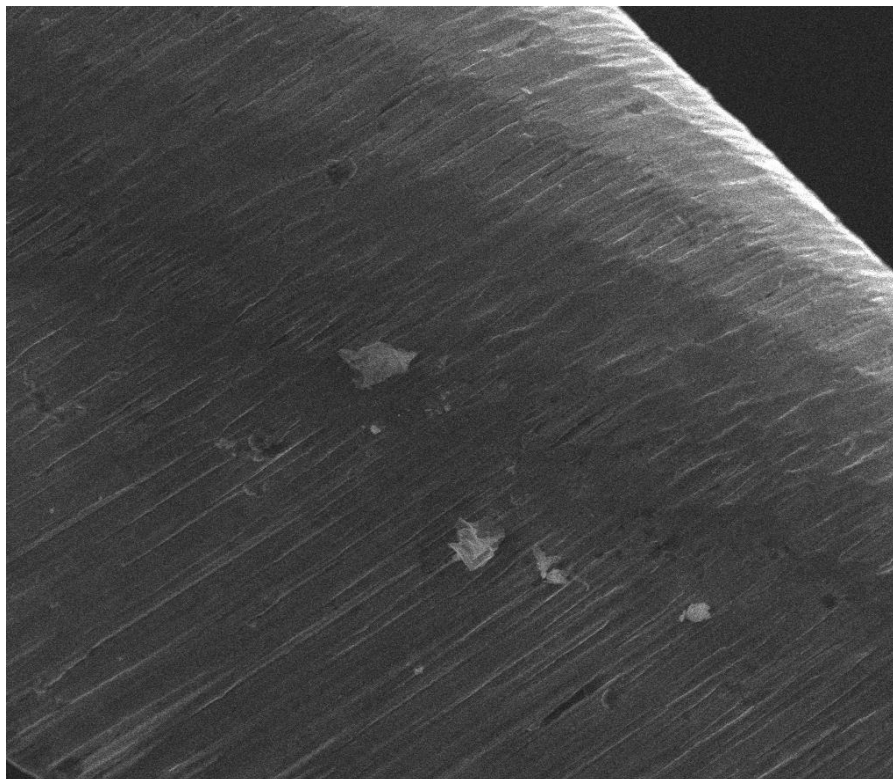
2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	100 μ m
10:50:57 AM	298 μ m	20.00 kV	ETD	1 000 x	12.8 mm	Central Analytica - INSPECT S50

- Amostra 5



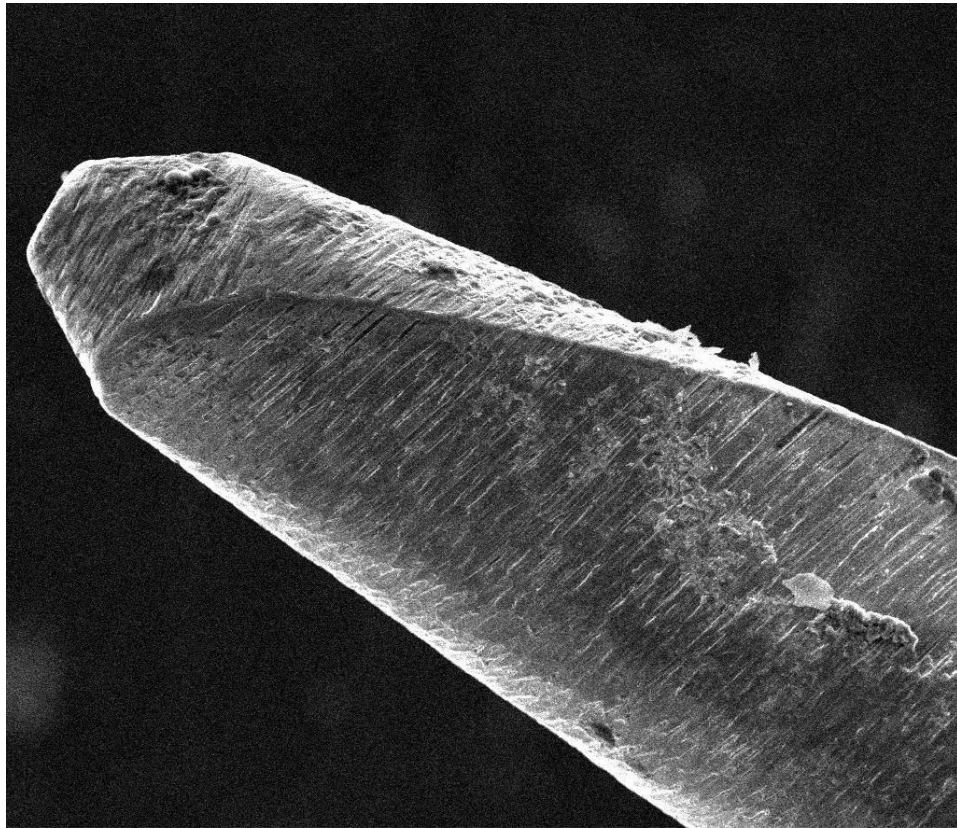


2/4/2025	HFW	HV	det	mag	WD	200 μ m
11:27:04 AM	597 μ m	20.00 kV	ETD	500 x	10.9 mm	Central Analytica - INSPECT S50

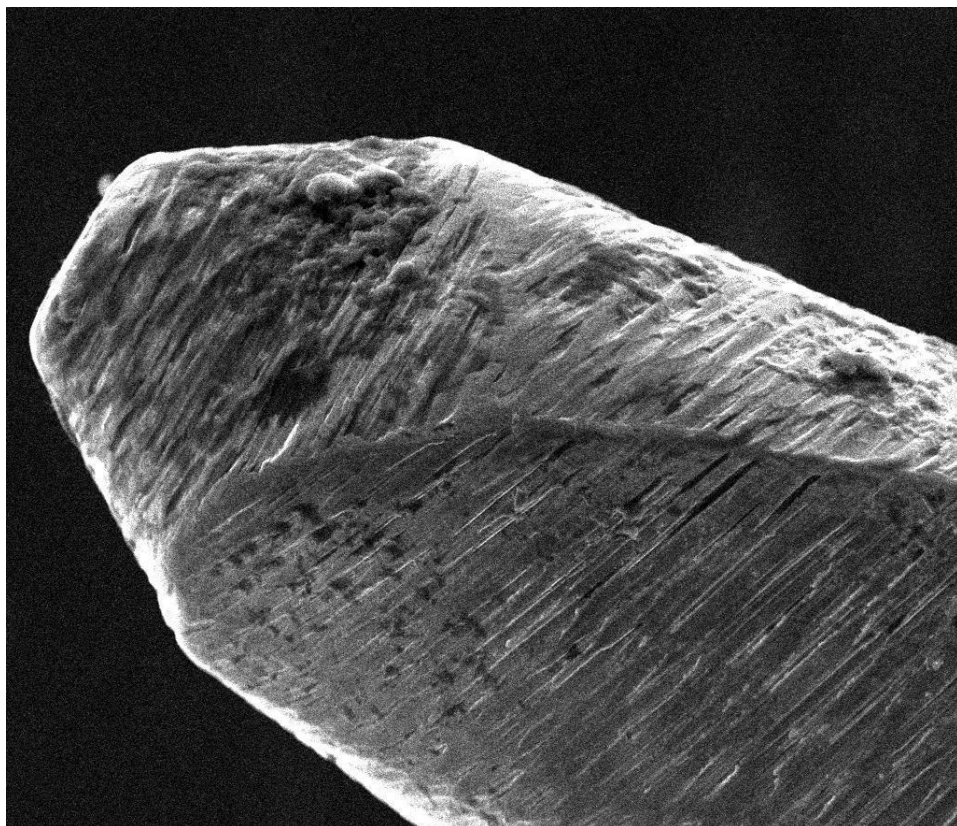


2/4/2025	HFW	HV	det	mag	WD	100 μ m
11:26:13 AM	298 μ m	20.00 kV	ETD	1 000 x	10.9 mm	Central Analytica - INSPECT S50

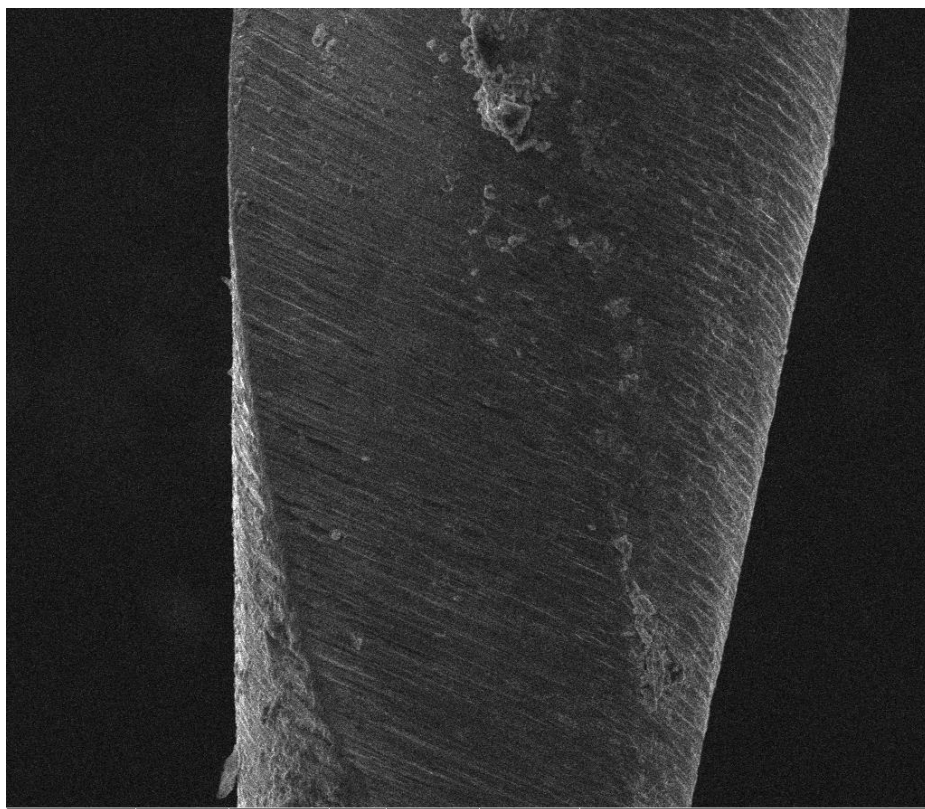
- Amostra 6



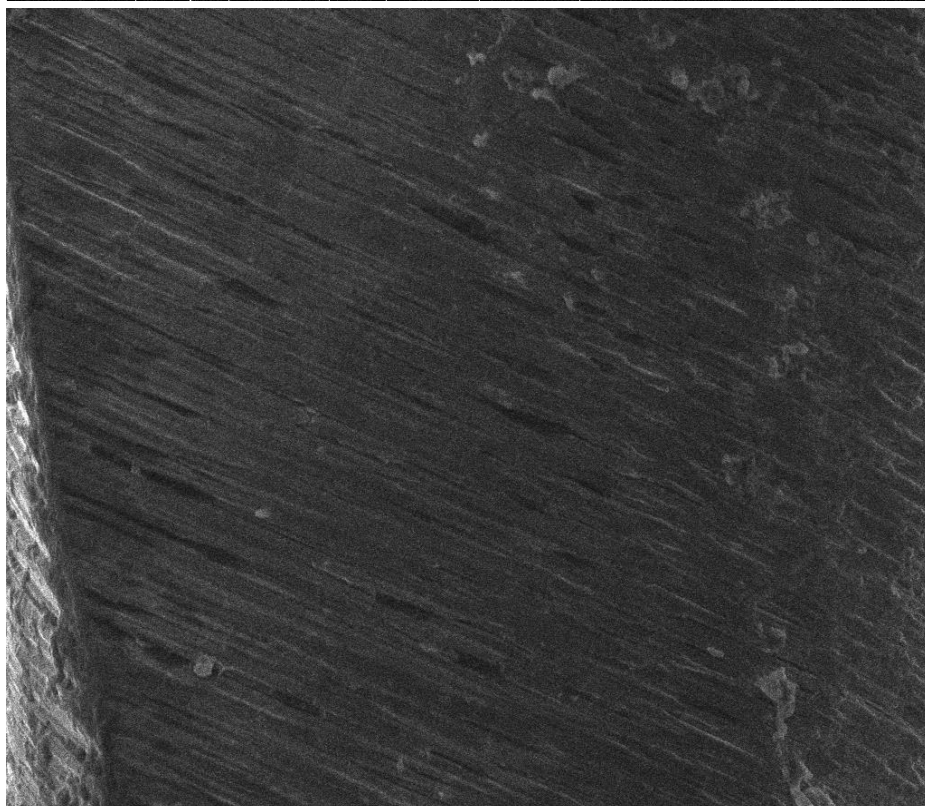
2/3/2025	HFV	HV	det	mag □	WD	200 μm
10:55:09 AM	597 μm	20.00 kV	ETD	500 x	12.9 mm	Central Analitica - INSPECT S50



2/3/2025	HFV	HV	det	mag □	WD	100 μm
10:54:09 AM	298 μm	20.00 kV	ETD	1 000 x	12.9 mm	Central Analitica - INSPECT S50

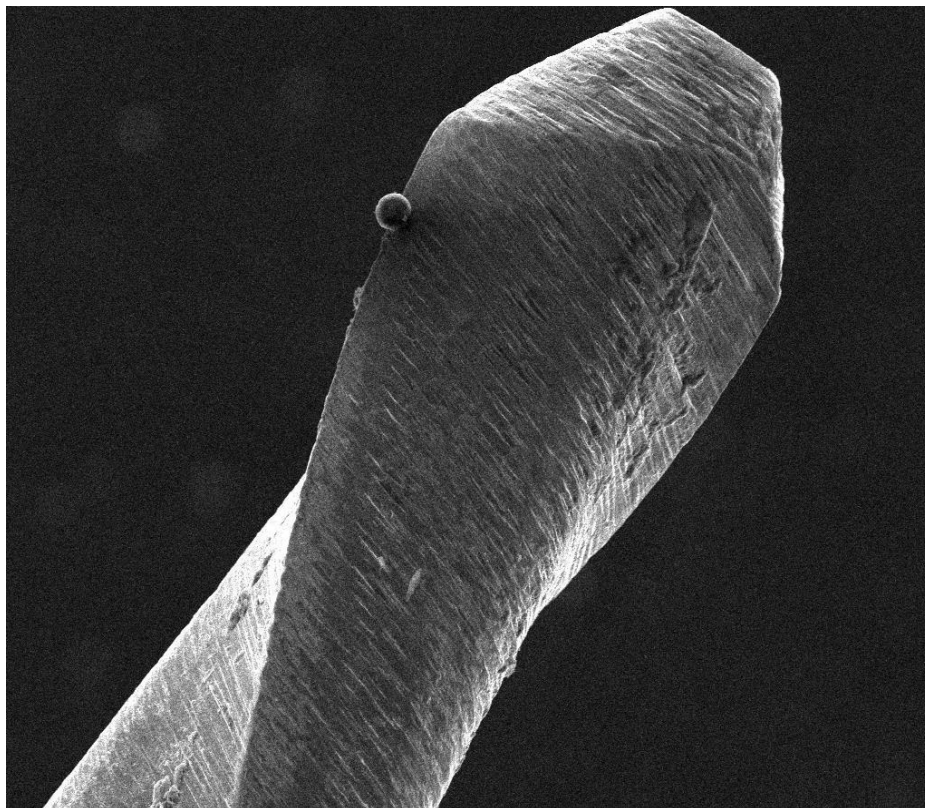


2/4/2025	HFW	HV	det	mag	WD	← 200 μm →
9:10:37 AM	597 μm	20.00 kV	ETD	500 x	10.1 mm	Central Analytica - INSPECT S50

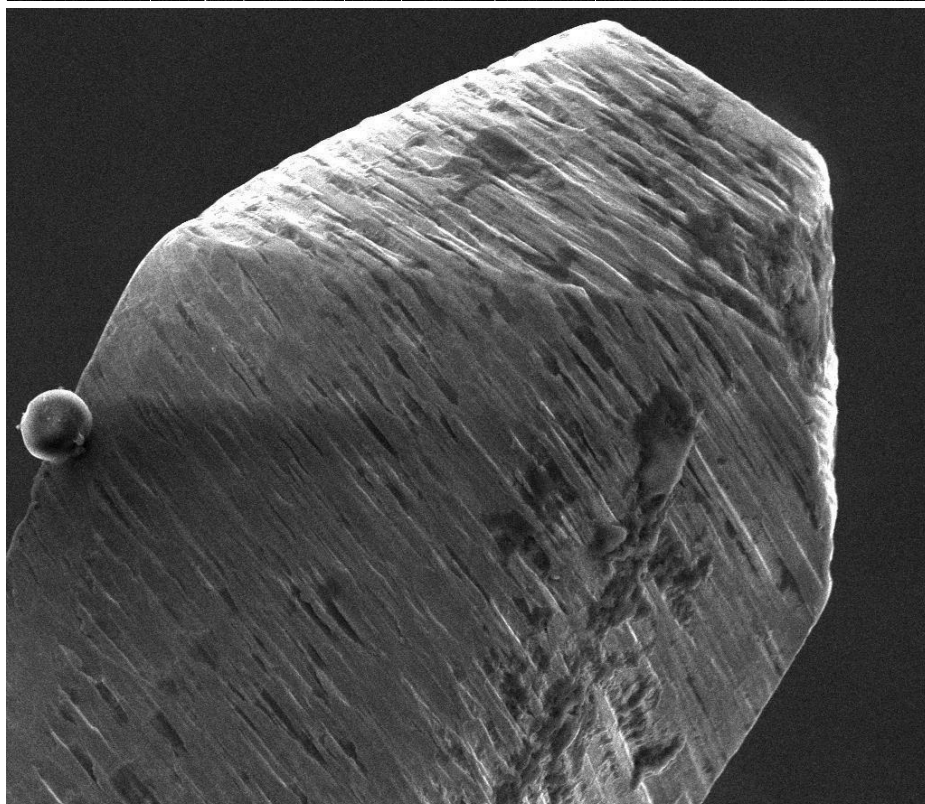


2/4/2025	HFW	HV	det	mag	WD	← 100 μm →
9:08:06 AM	298 μm	20.00 kV	ETD	1 000 x	10.1 mm	Central Analytica - INSPECT S50

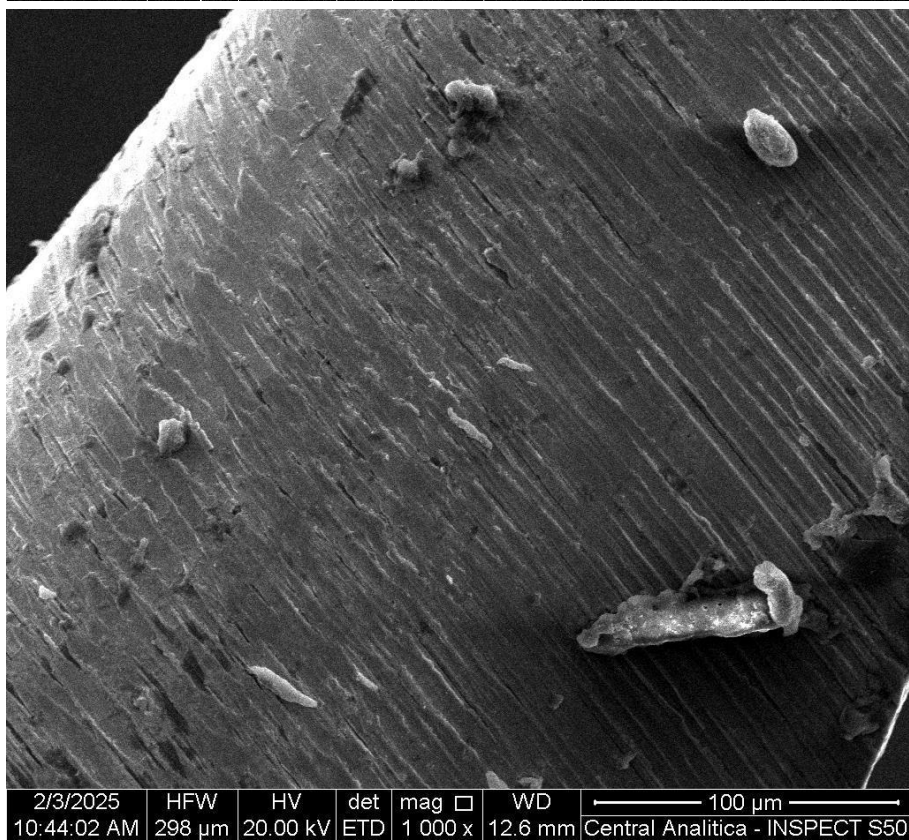
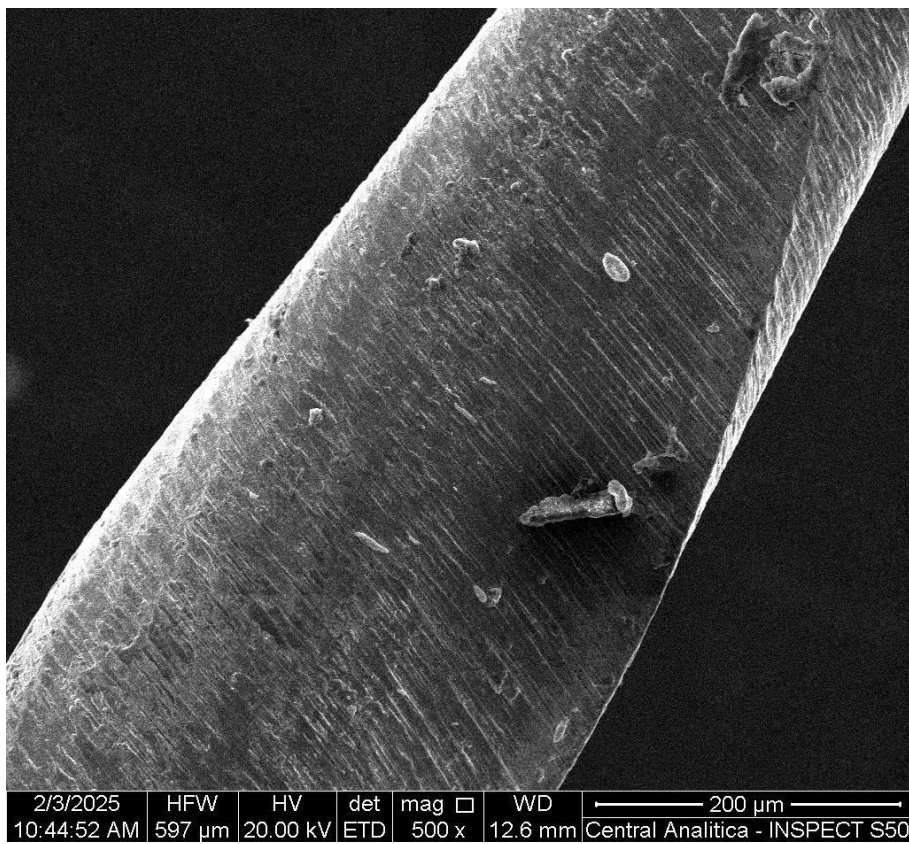
- Amostra 7



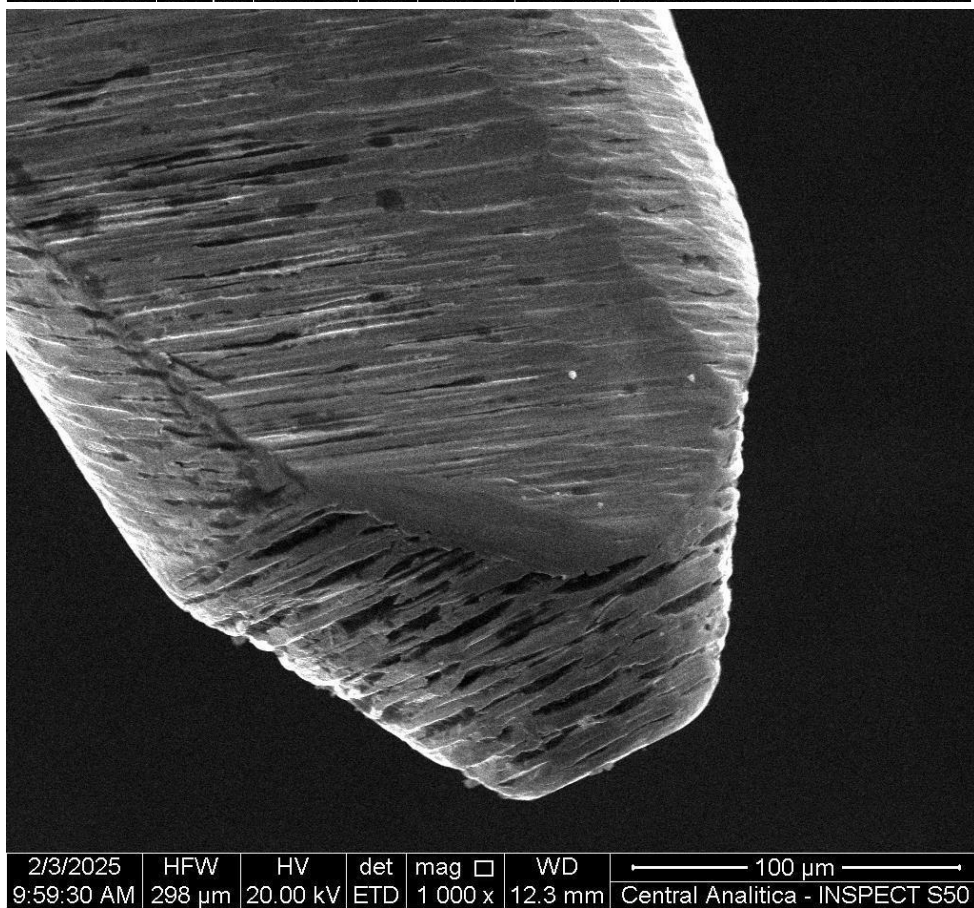
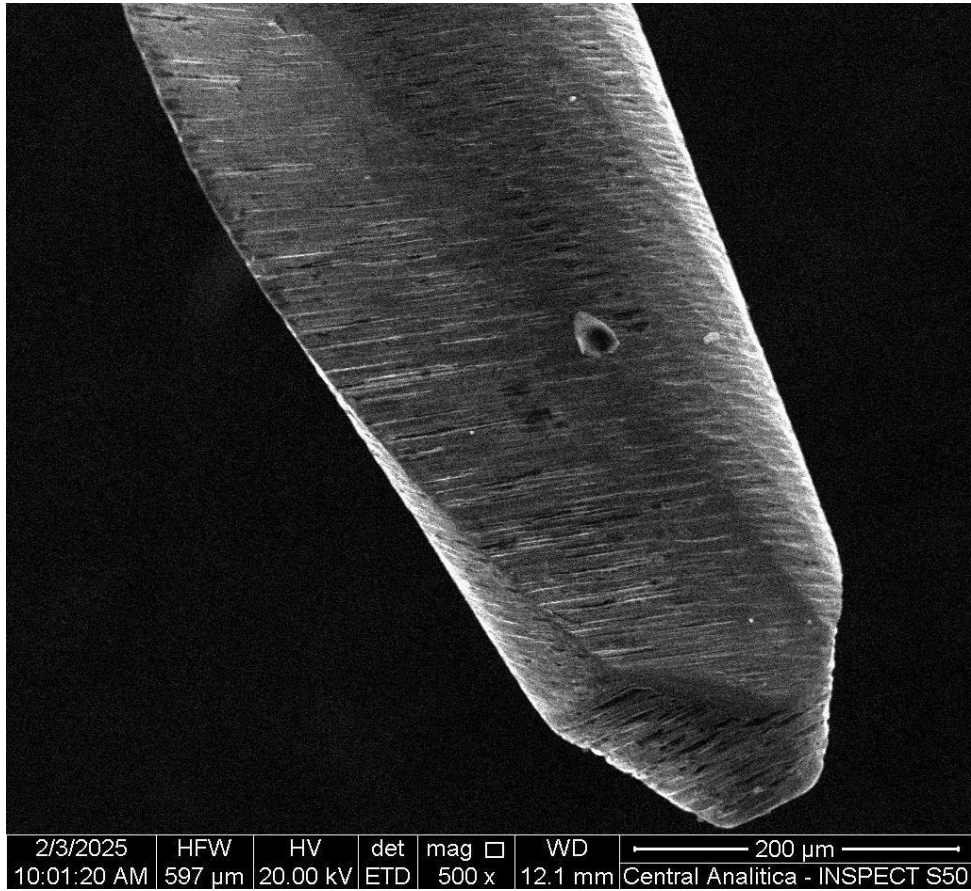
2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	200 μ m
10:41:53 AM	597 μ m	20.00 kV	ETD	500 x	12.7 mm	Central Analitica - INSPECT S50

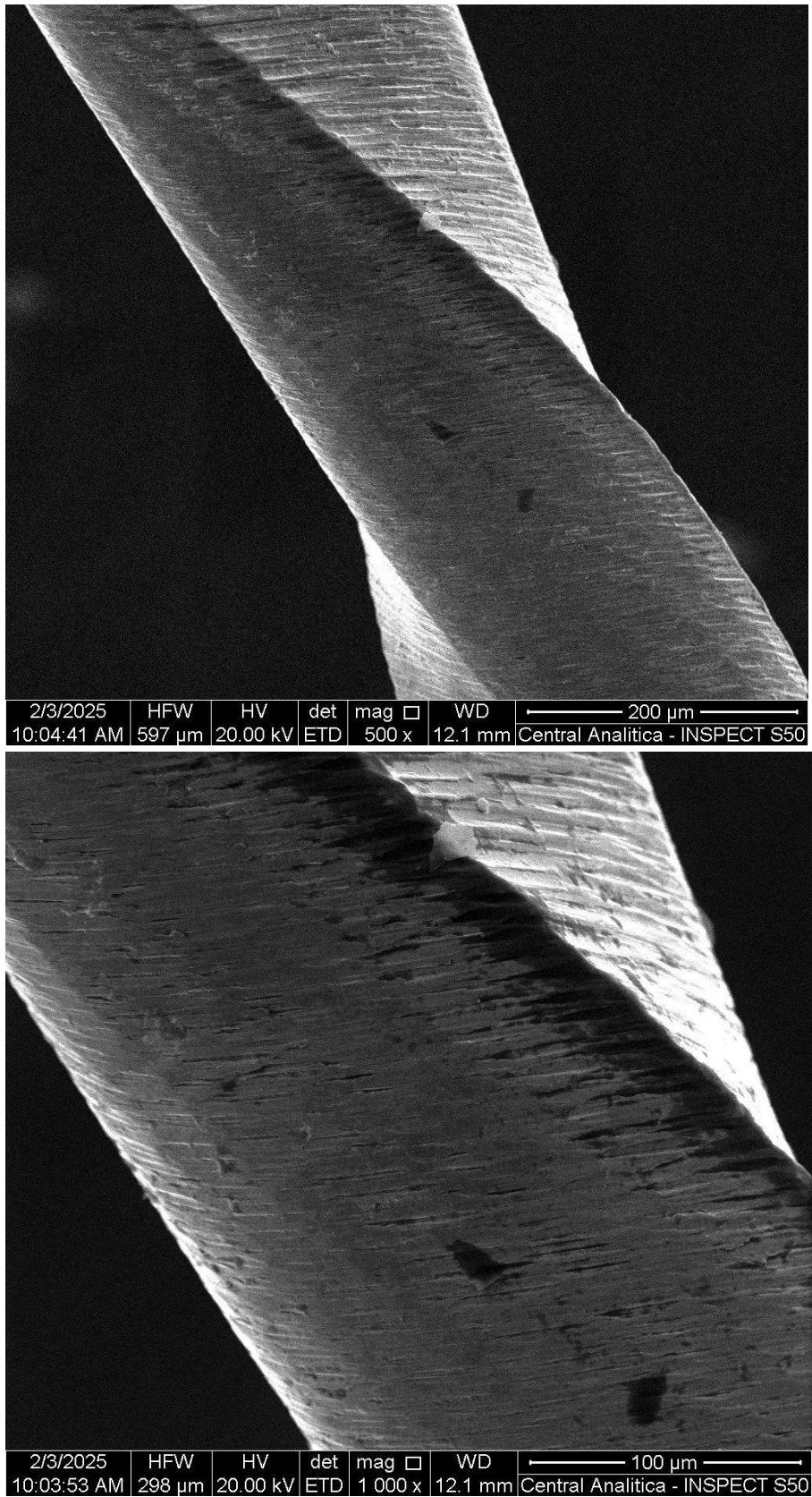


2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	100 μ m
10:40:51 AM	298 μ m	20.00 kV	ETD	1 000 x	12.7 mm	Central Analitica - INSPECT S50

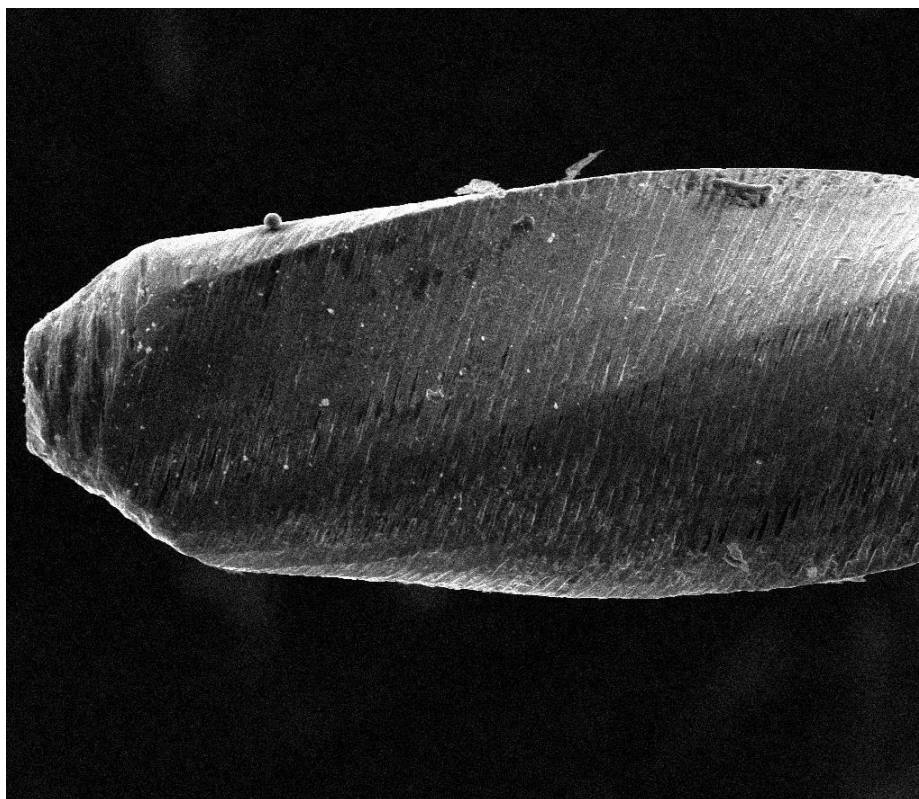


- Amostra 8

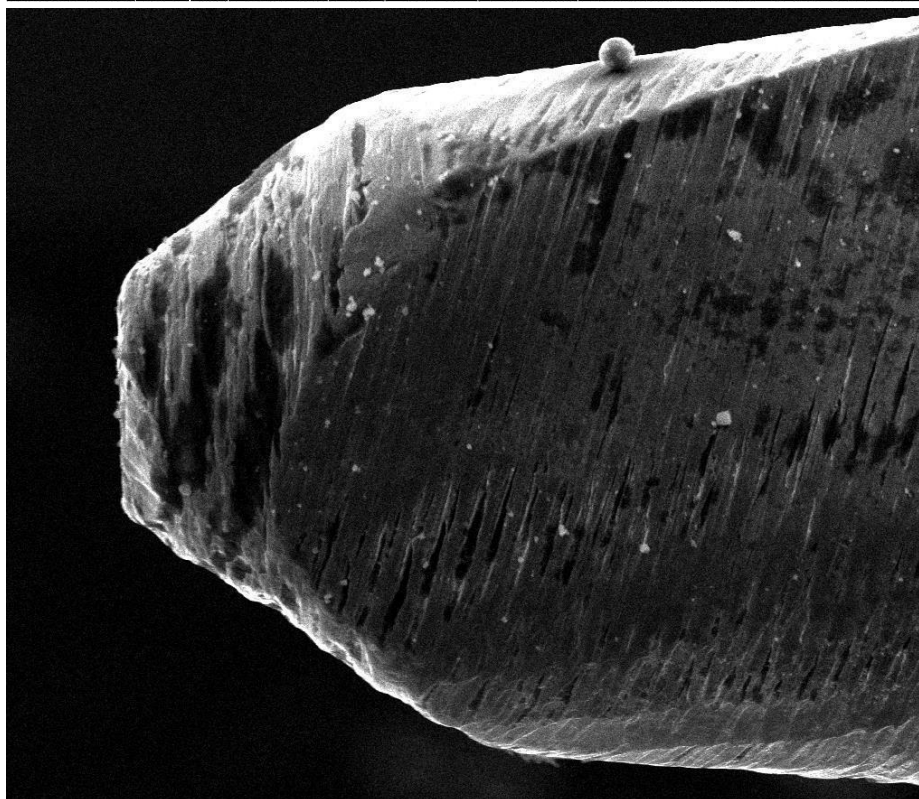




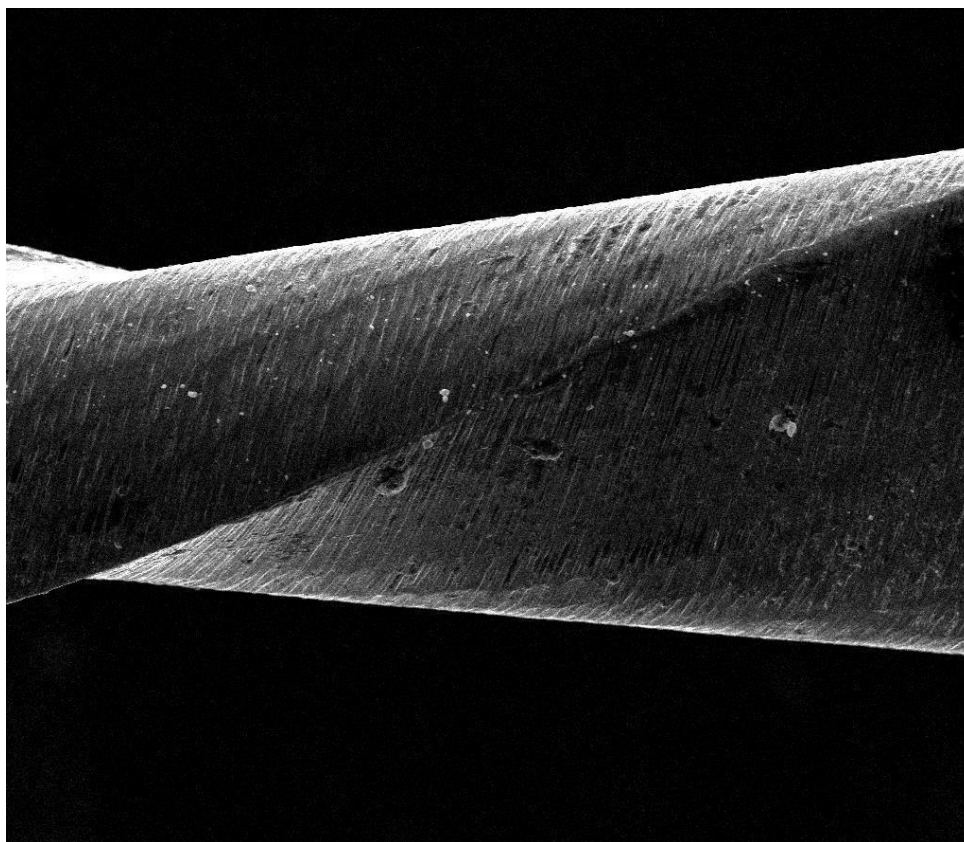
• Amostra 9



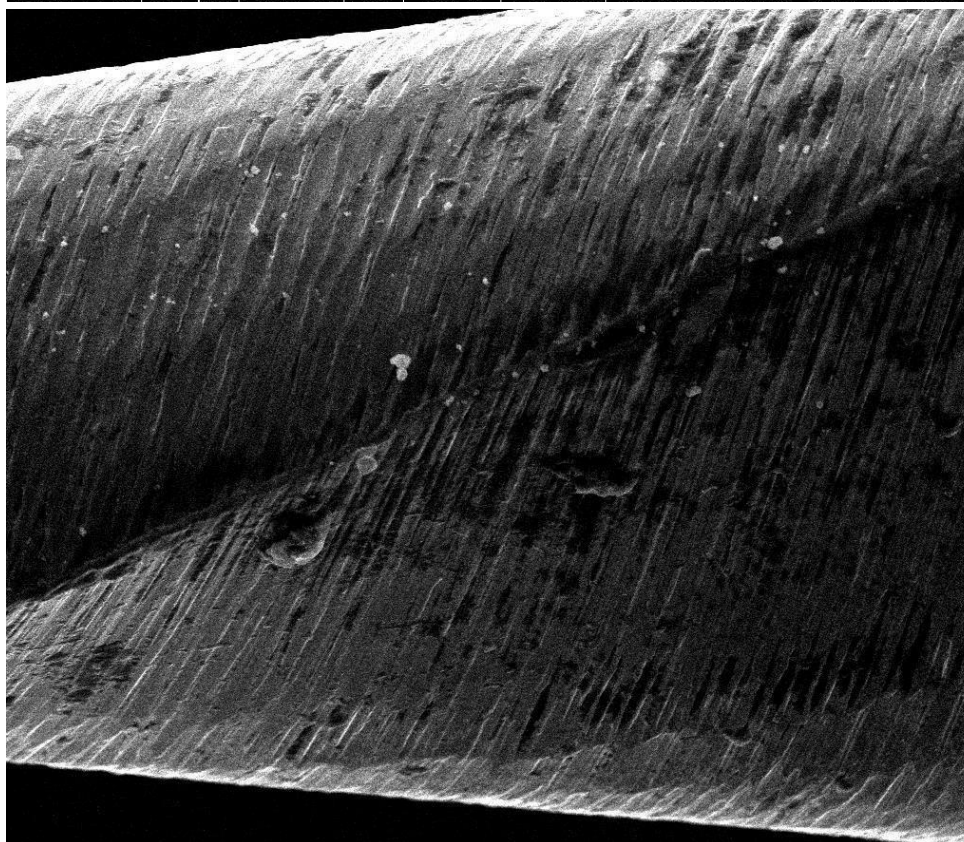
2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	200 μ m
9:42:12 AM	597 μ m	20.00 kV	ETD	500 x	12.8 mm	Central Analitica - INSPECT S50



2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	100 μ m
9:41:03 AM	298 μ m	20.00 kV	ETD	1 000 x	12.8 mm	Central Analitica - INSPECT S50

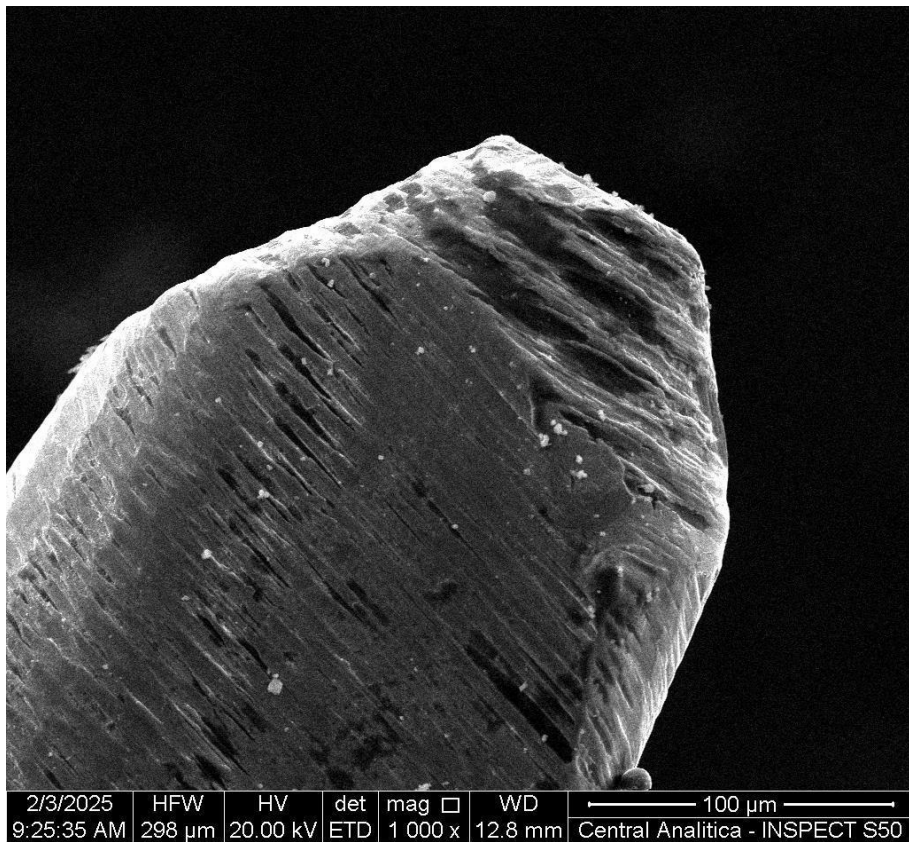
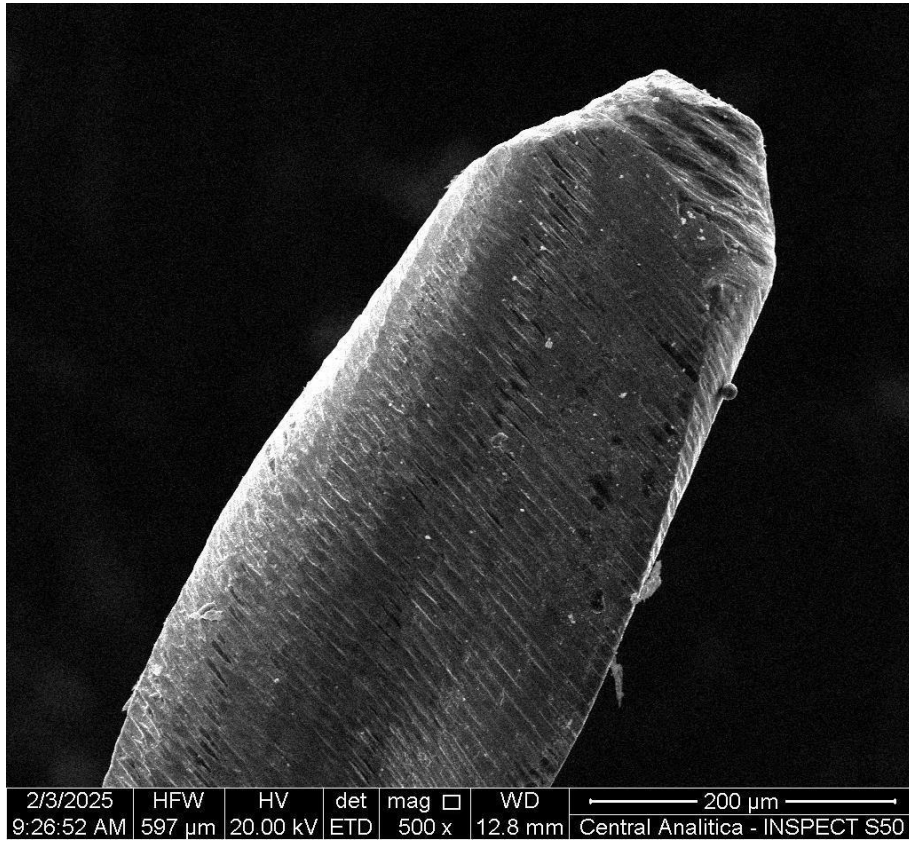


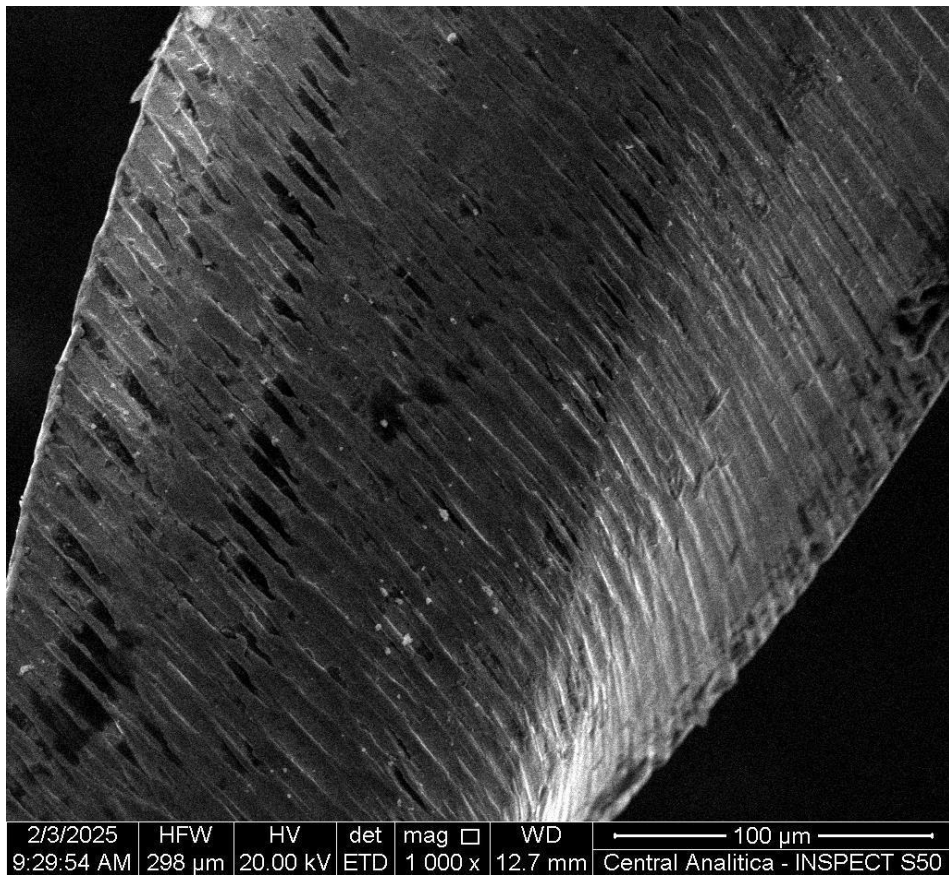
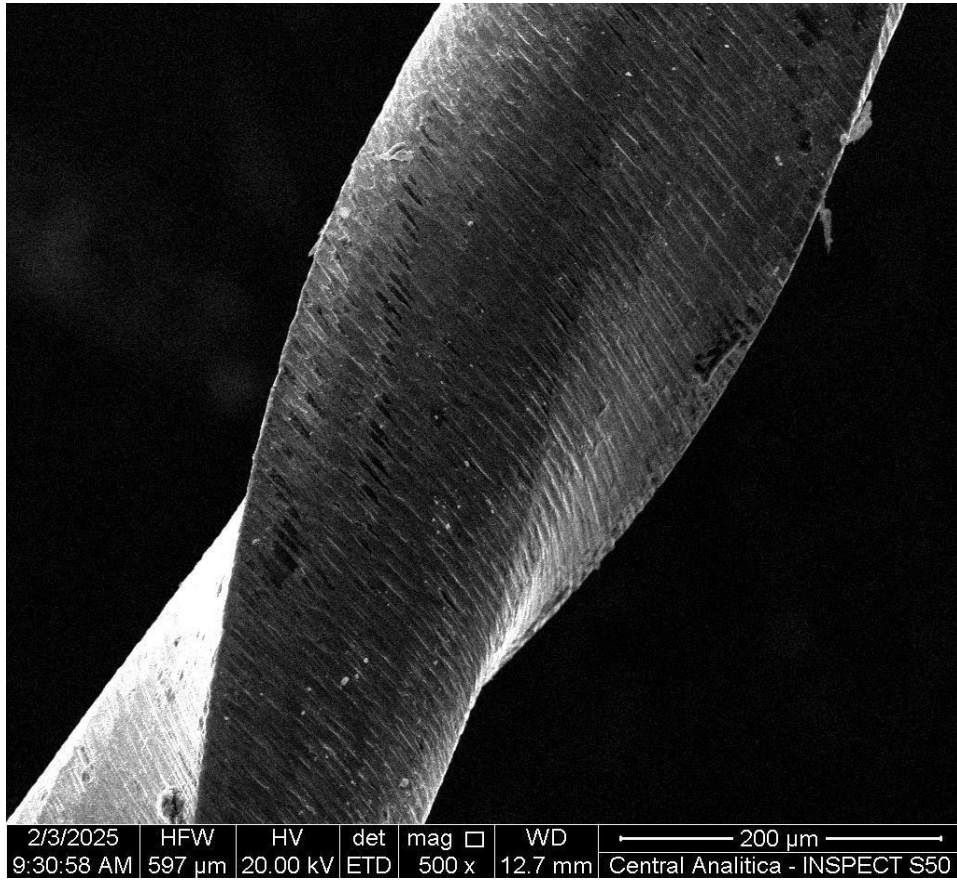
2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	200 μ m
9:45:50 AM	597 μ m	20.00 kV	ETD	500 x	12.7 mm	Central Analytica - INSPECT S50



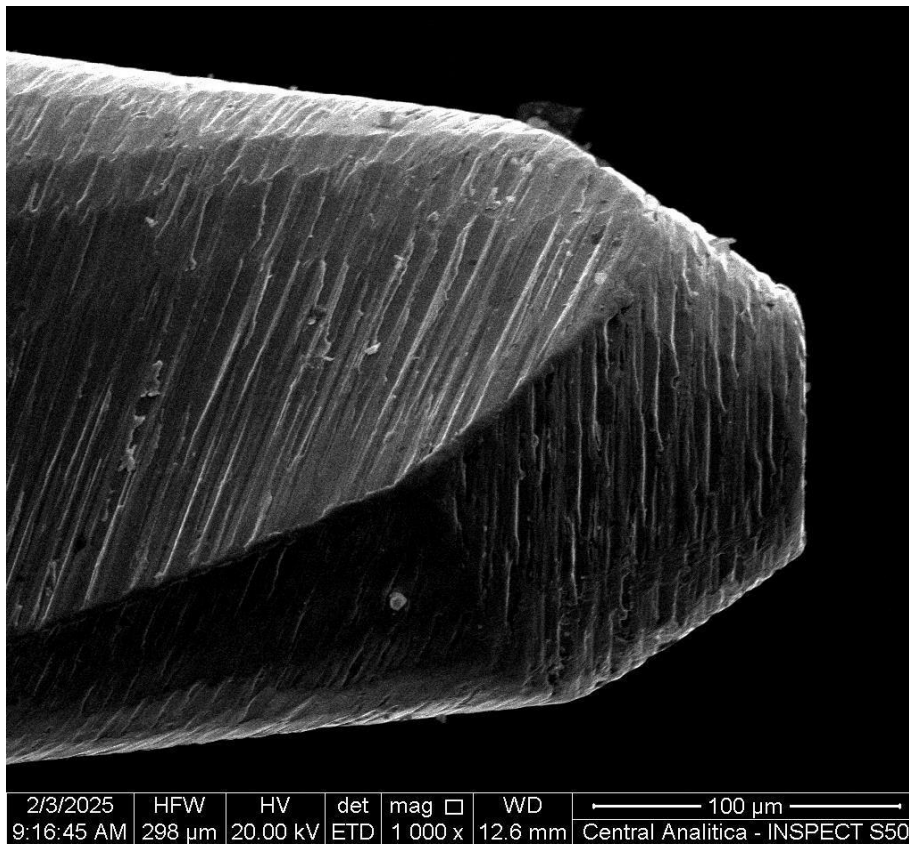
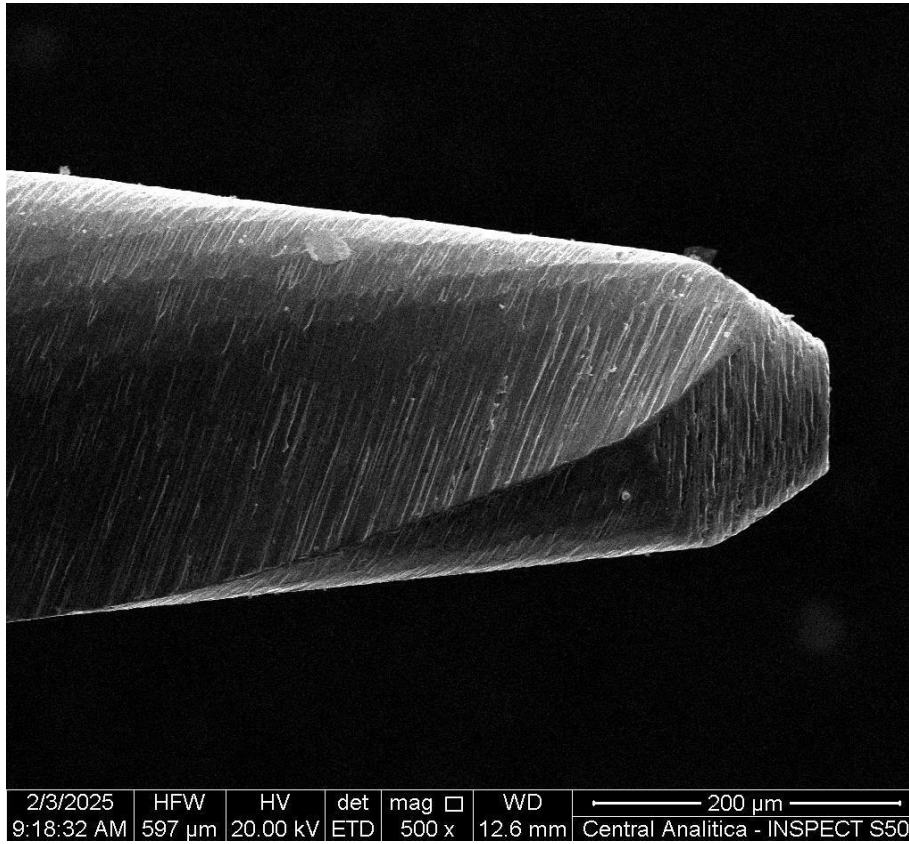
2/3/2025	HFW	HV	det	mag	WD	100 μ m
9:47:55 AM	298 μ m	20.00 kV	ETD	1 000 x	12.7 mm	Central Analytica - INSPECT S50

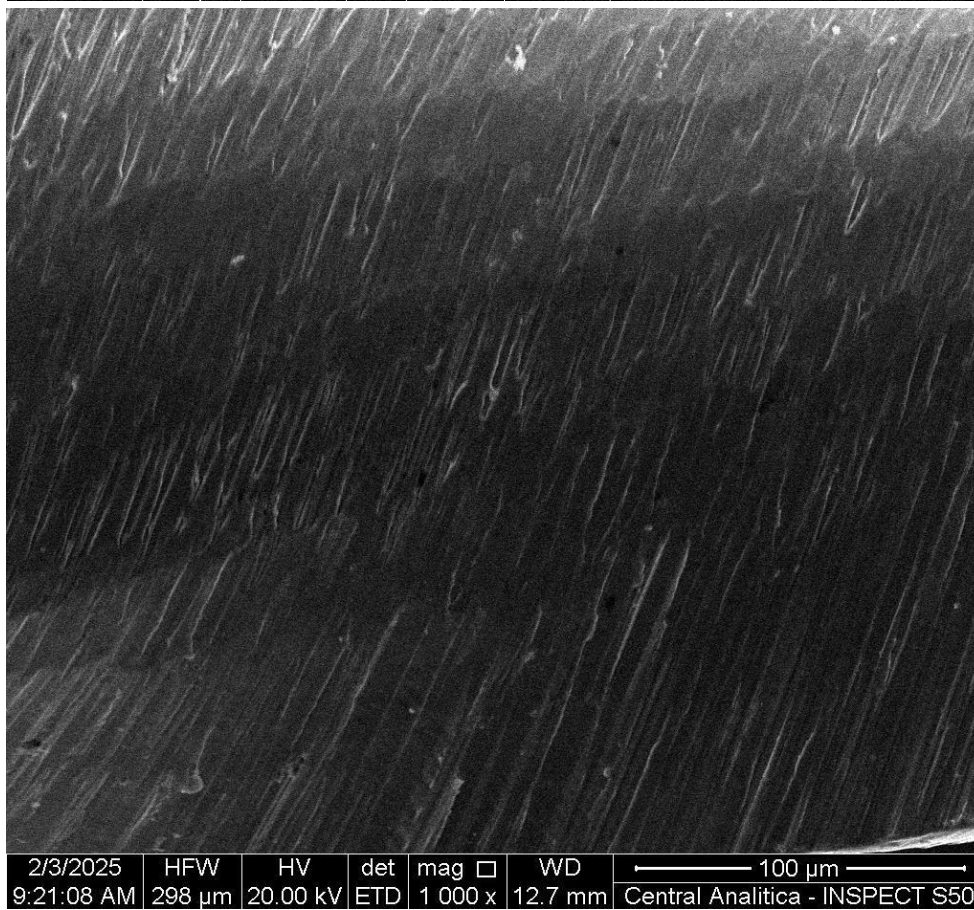
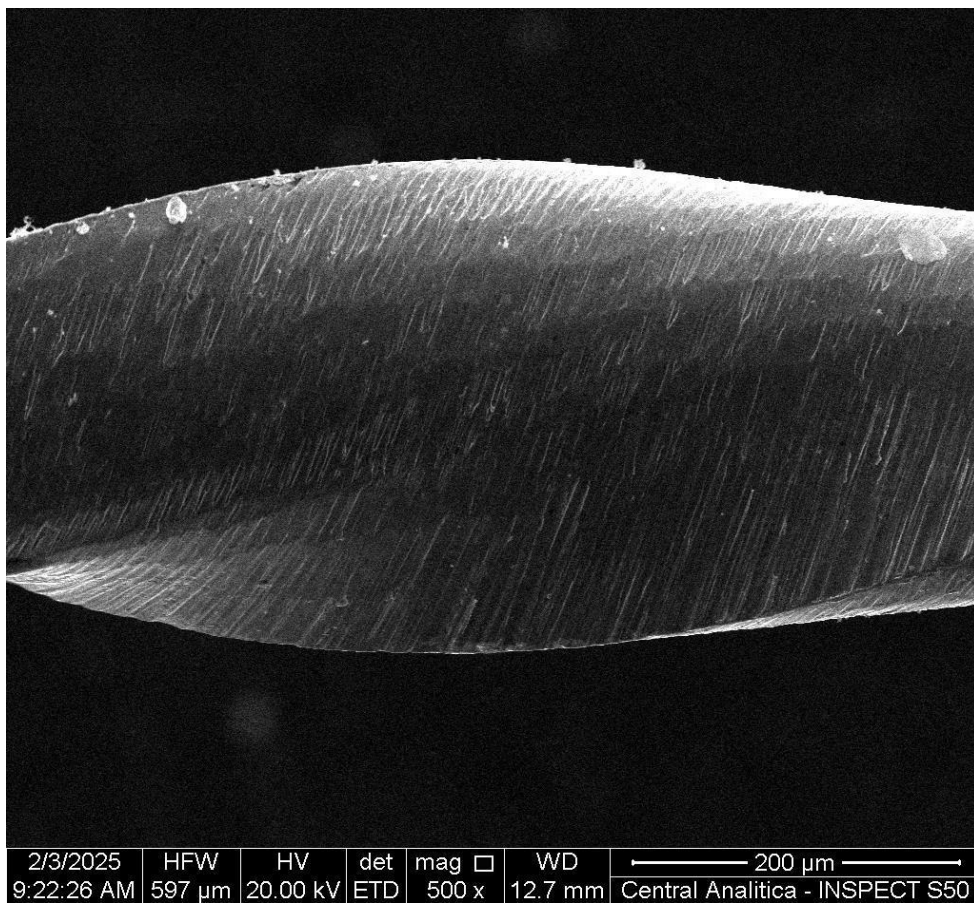
- Amostra 10





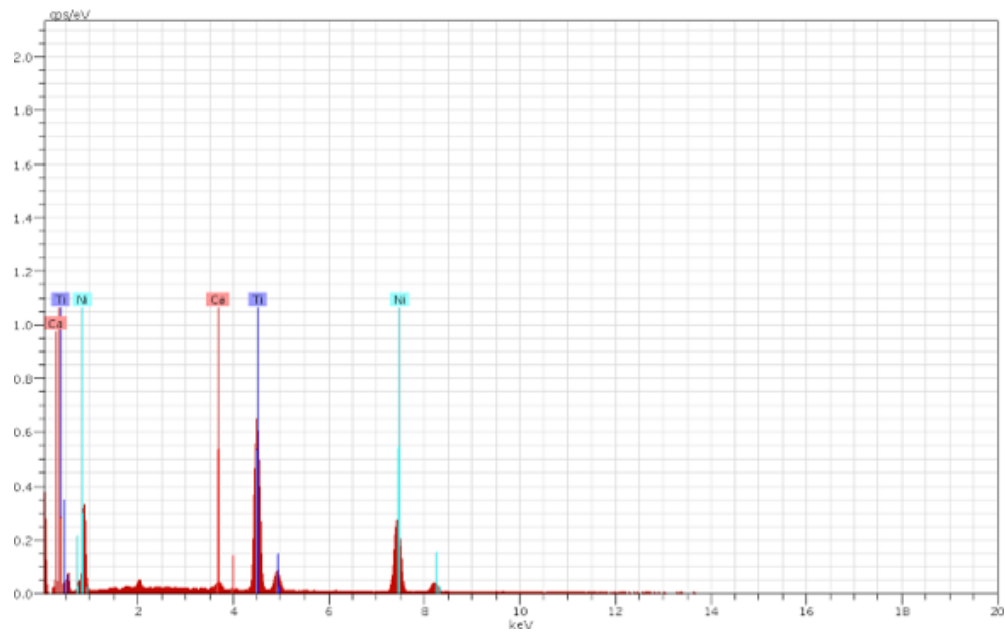
- Amostra 11



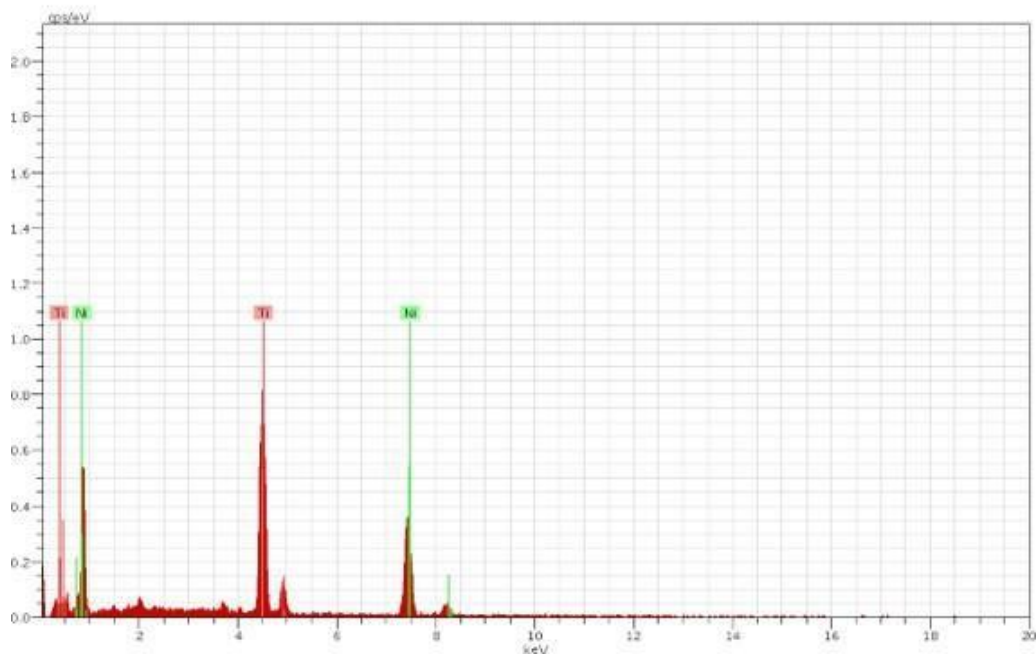


Apêndice 3: Gráficos da composição as amostras obtidas por EDS

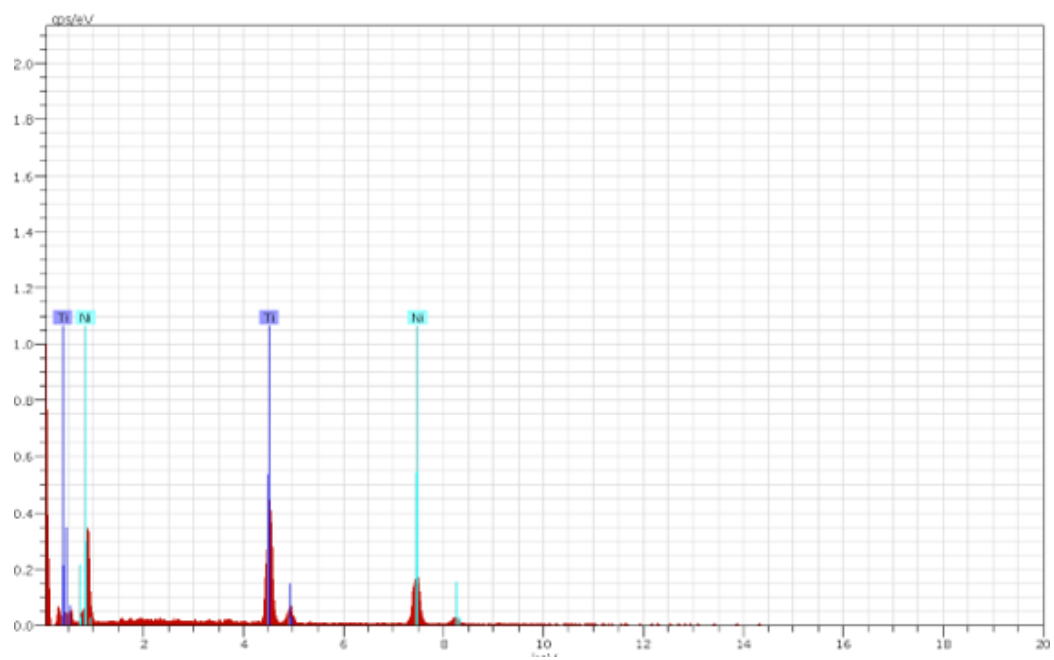
Amostra 1- 1 a 2 mm



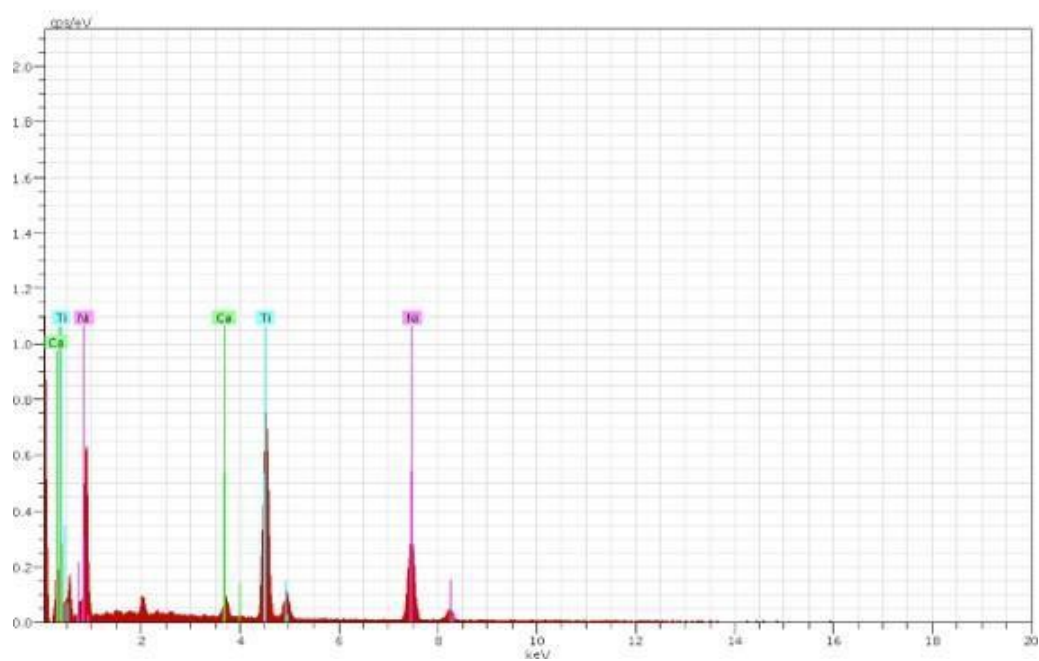
Amostra 1- 3 a 5 mm



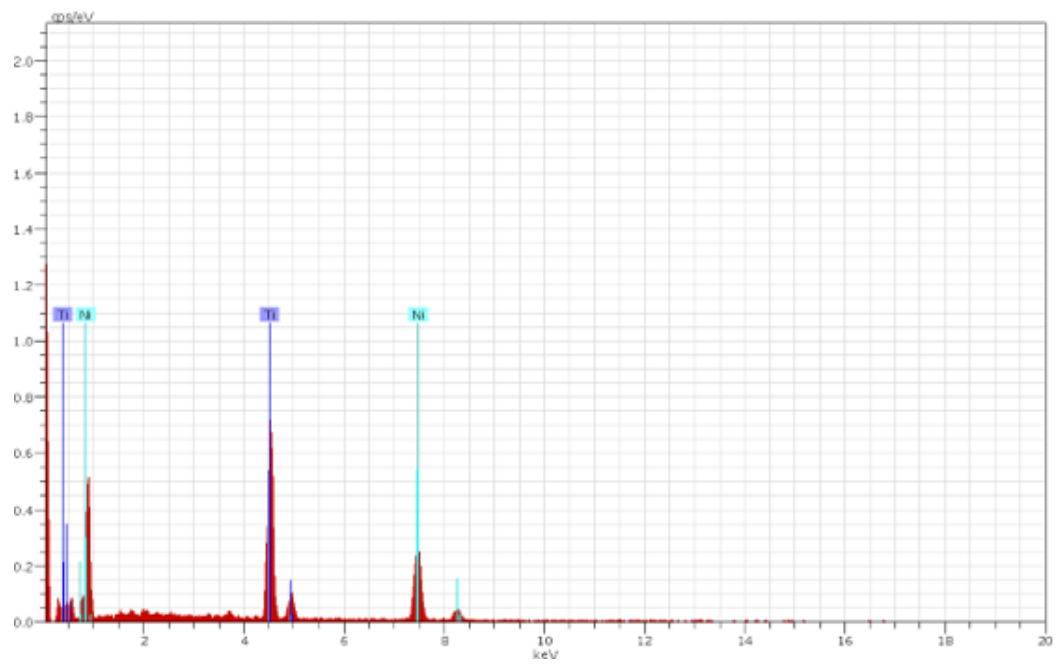
Amostra 2- 1 a 2 mm



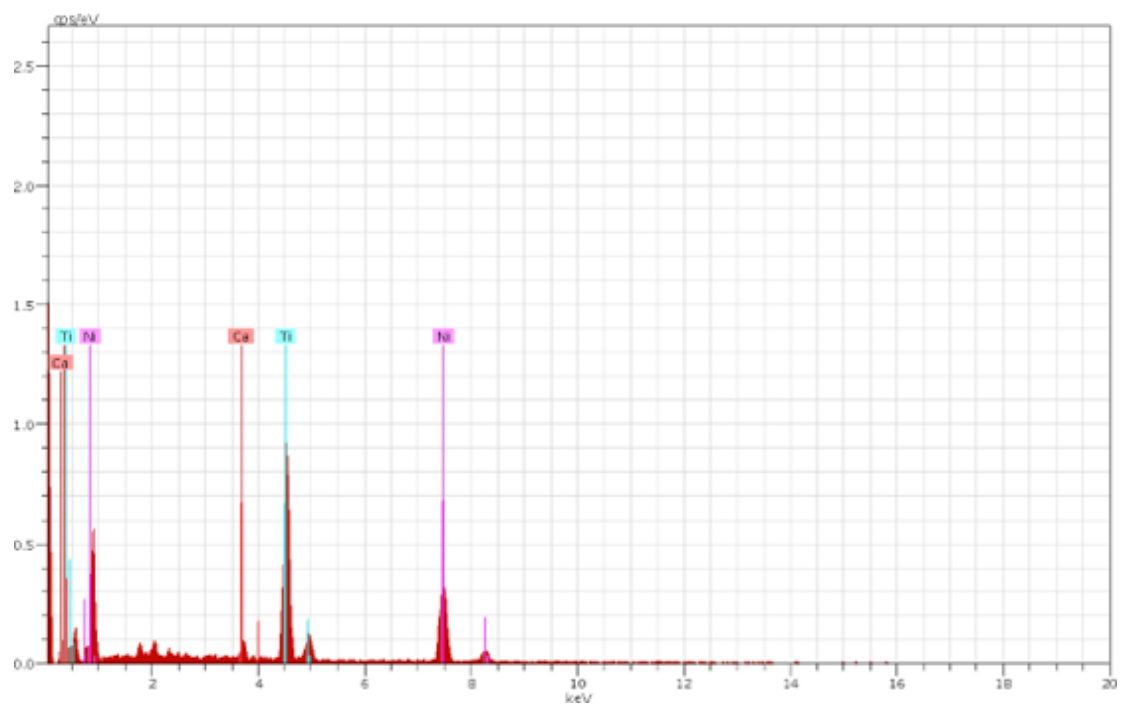
Amostra 2- 3 a 5 mm



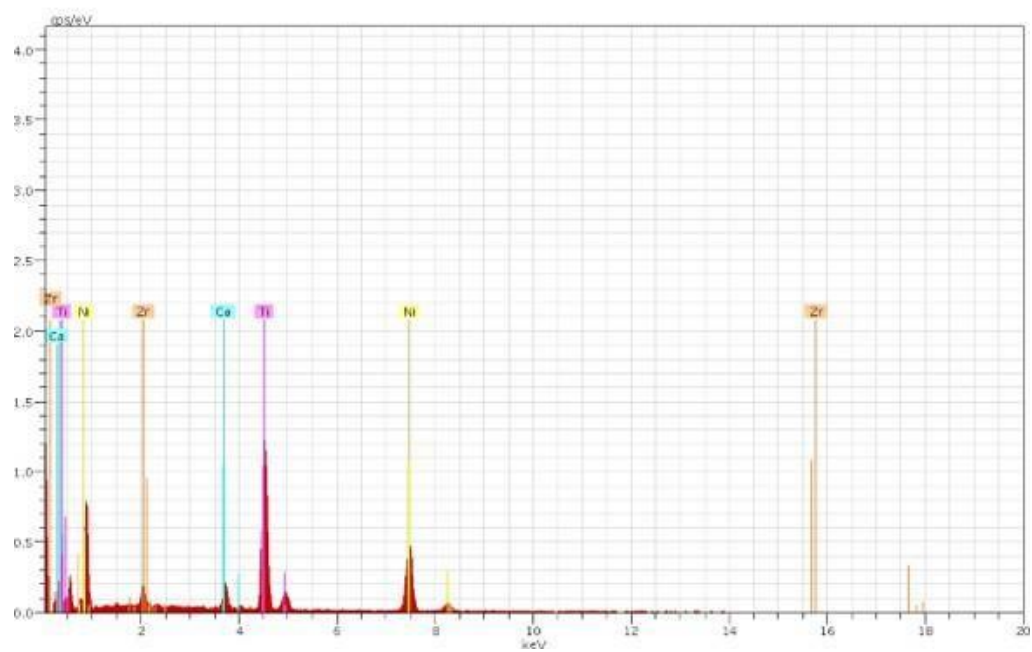
Amostra 3 – 1 a 2 mm



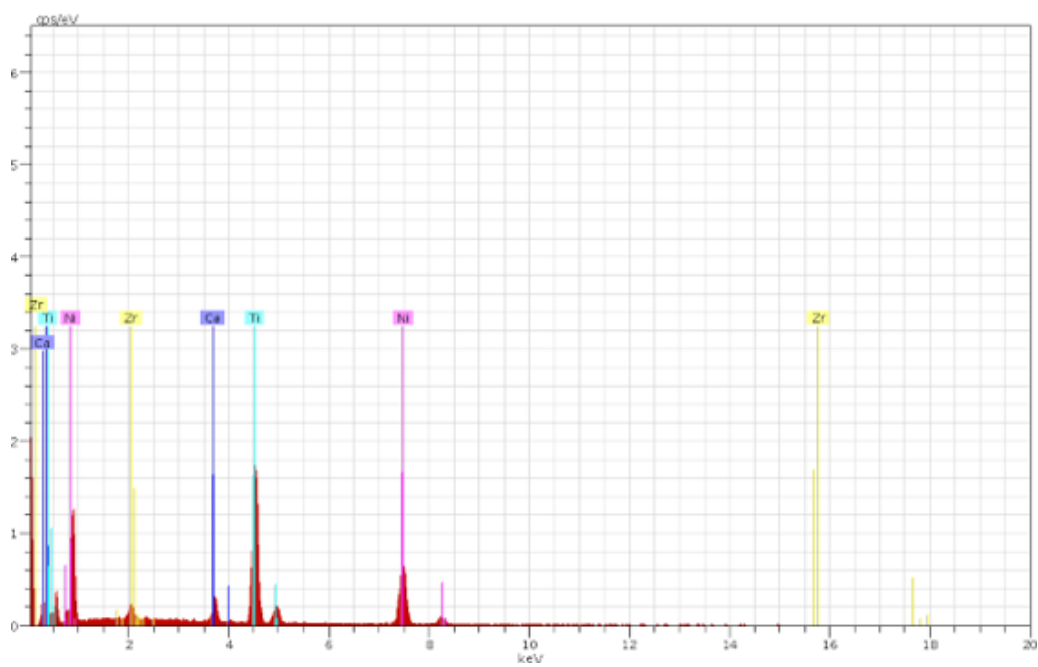
Amostra 3 - 3 a 5 mm



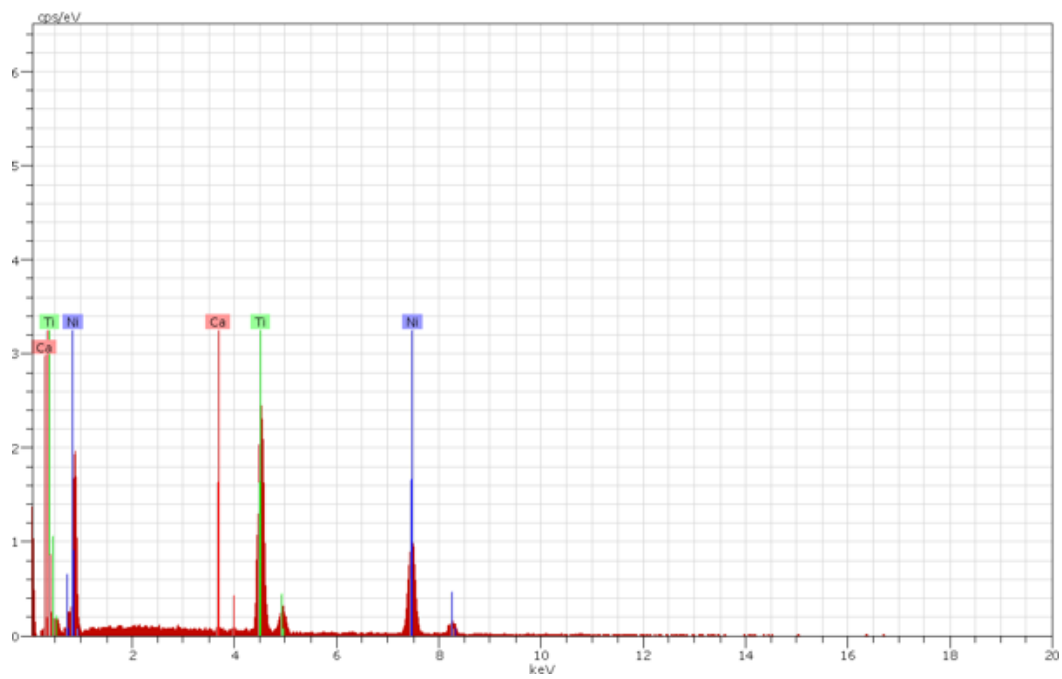
Amostra 4- 1 a 2 mm



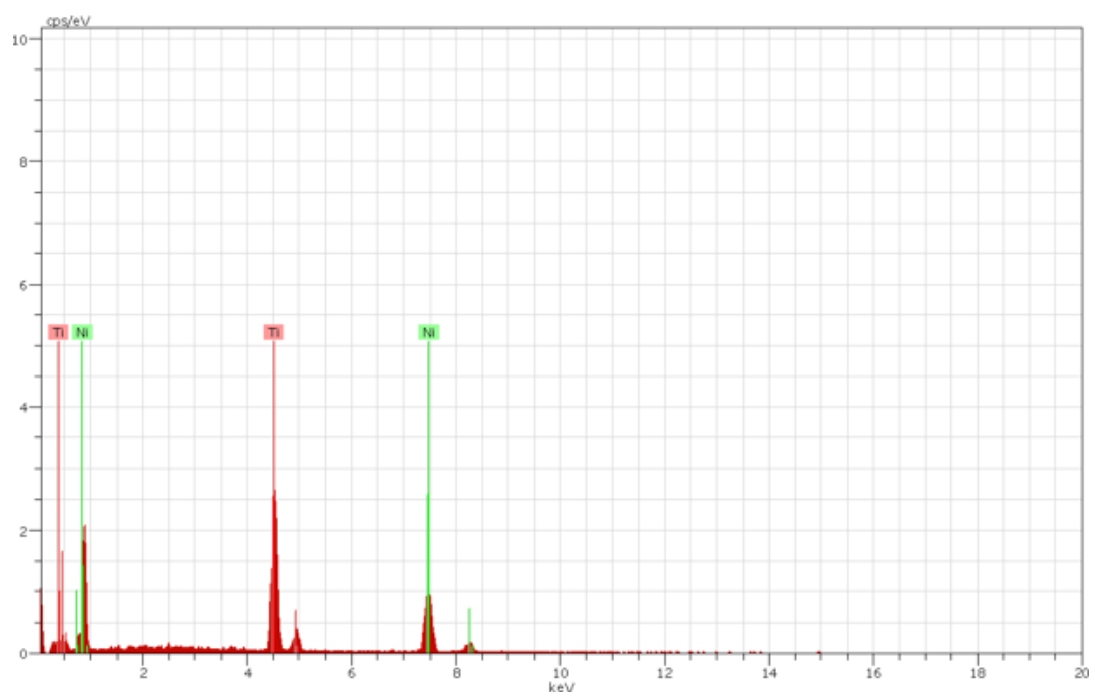
Amostra 4 - 3 a 5 mm



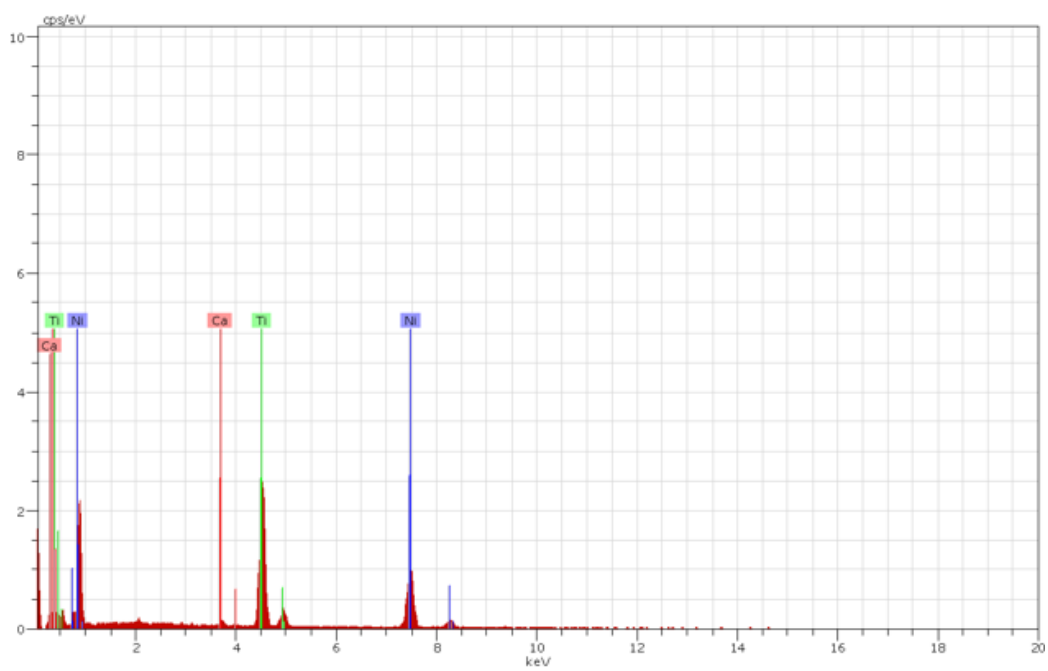
Amostra 5 – 1 a 2 mm



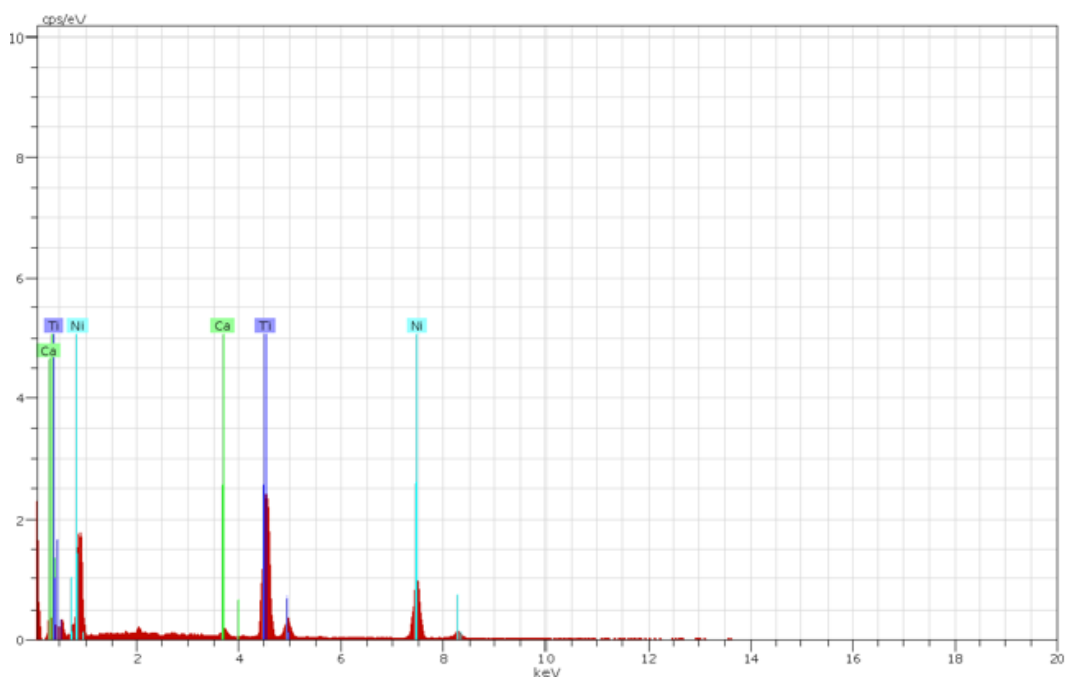
Amostra 5 – 3 a 5 mm



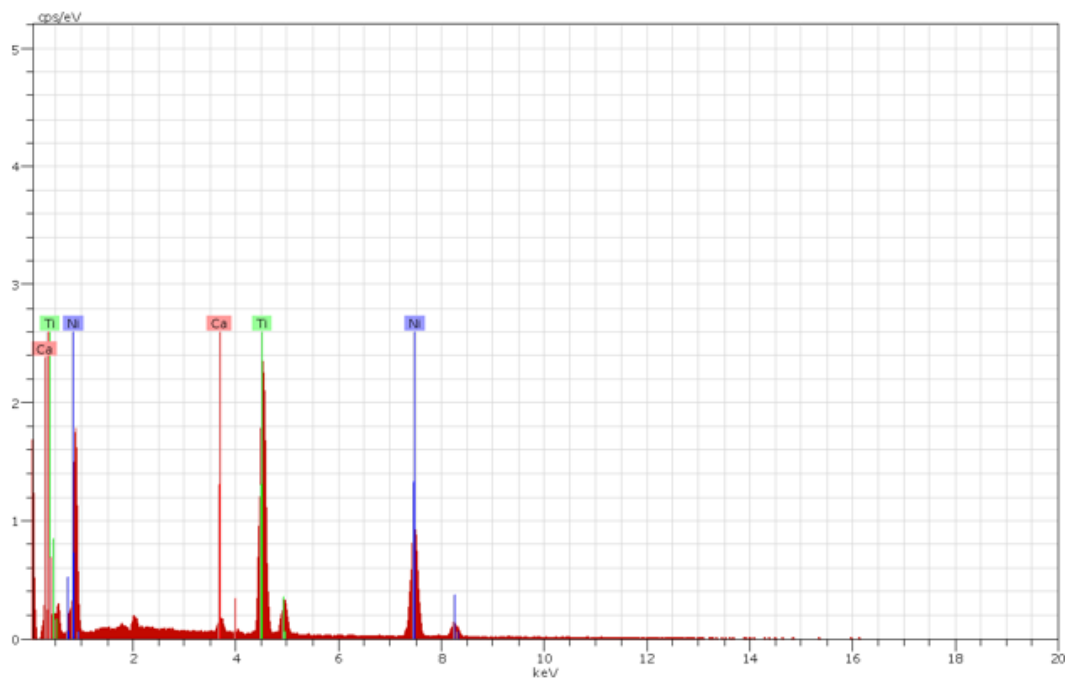
Amostra 6- 1 a 2 mm



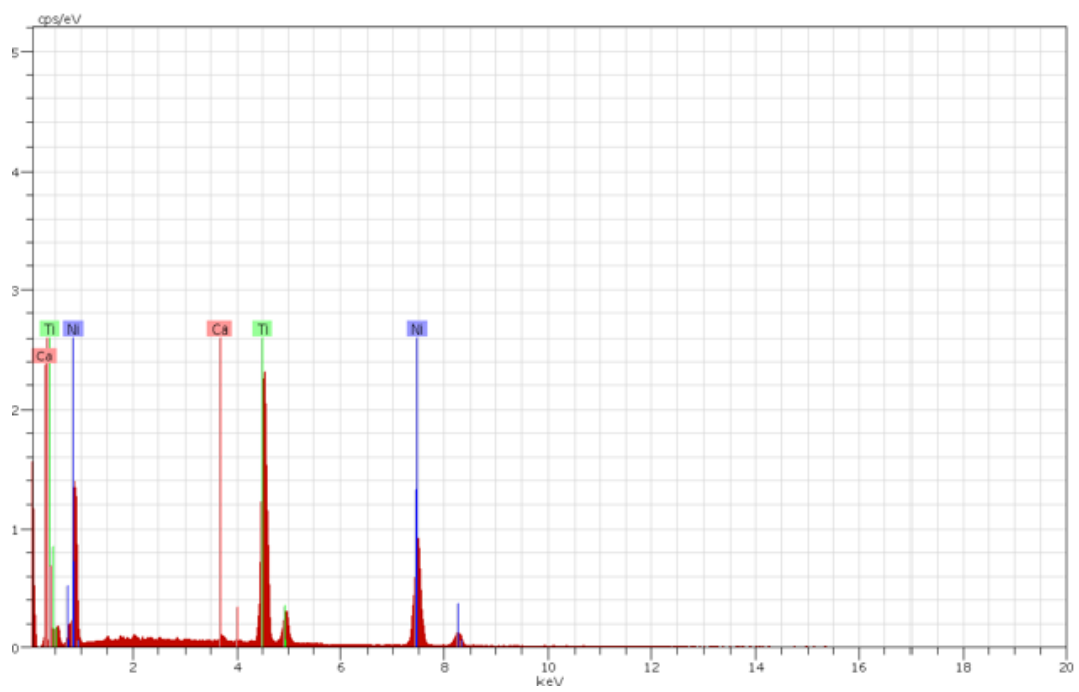
Amostra 6 - 3 a 5 mm



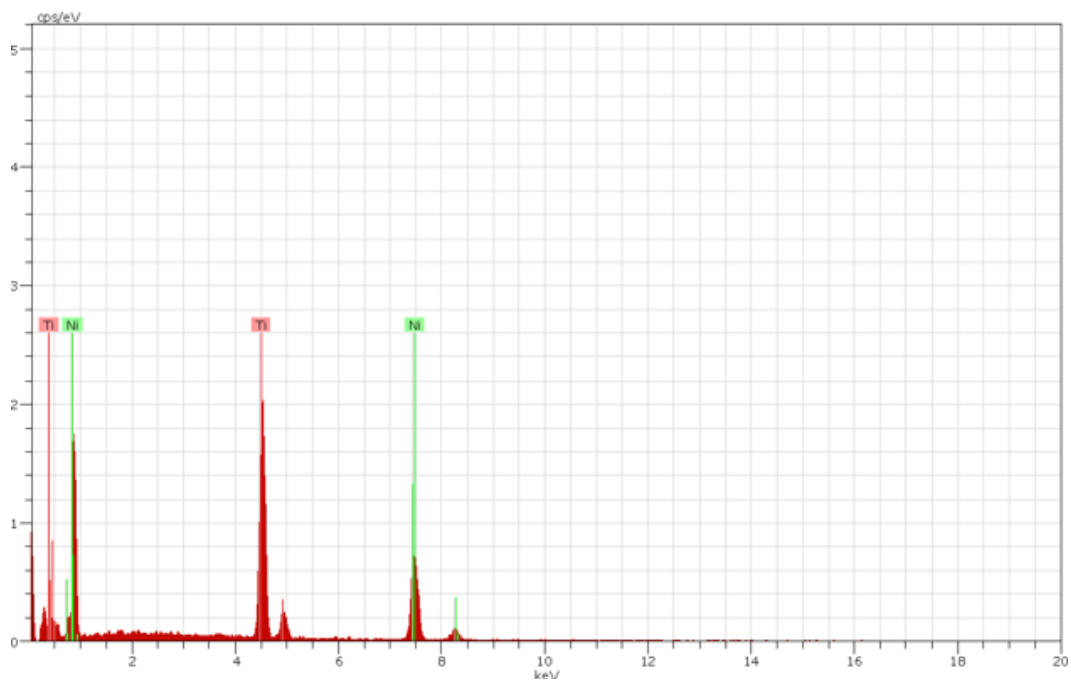
Amostra 7 – 1 a 2 mm



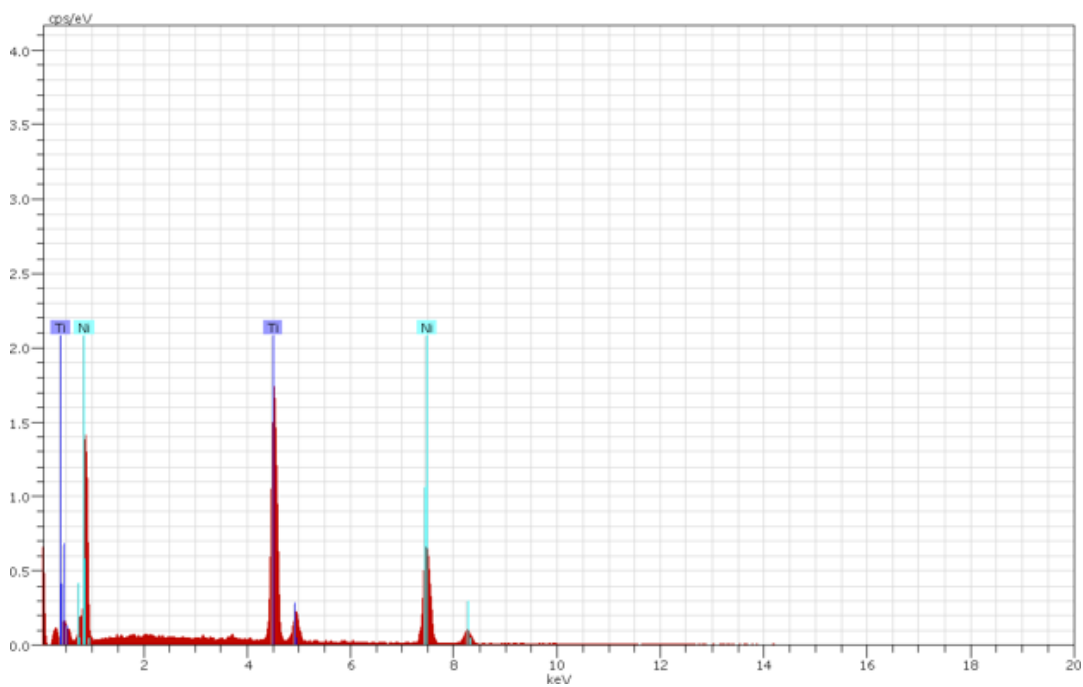
Amostra 7- 3 a 5 mm



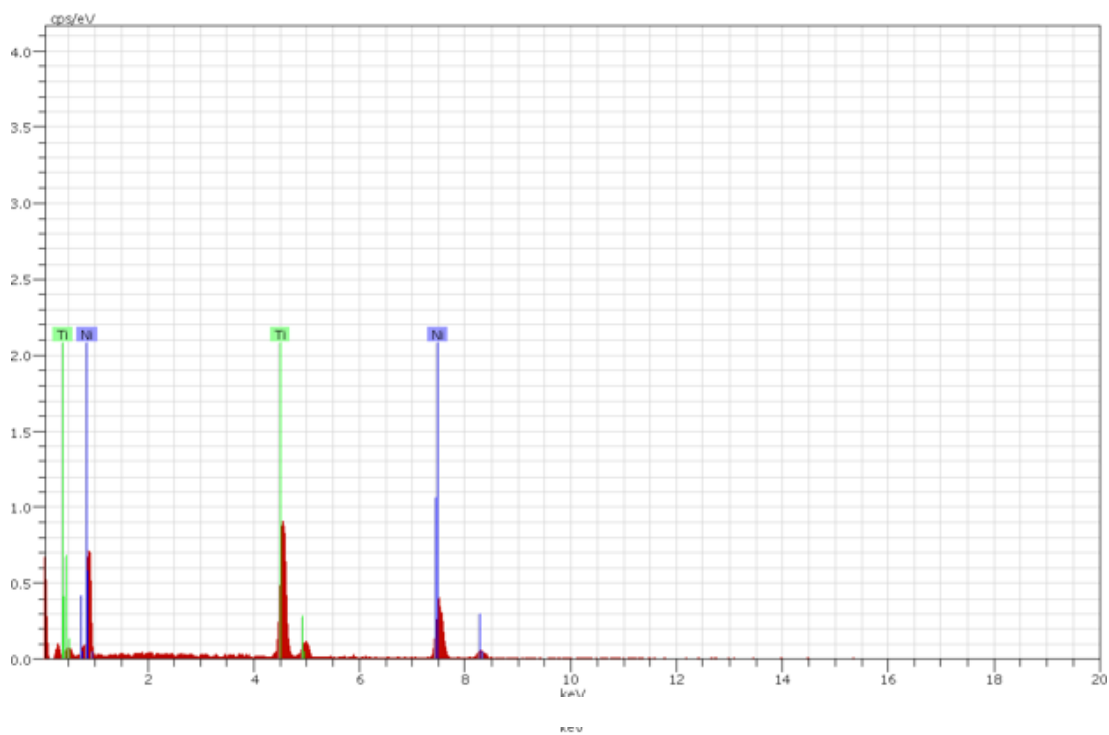
Amostra 8 – 1 a 2 mm



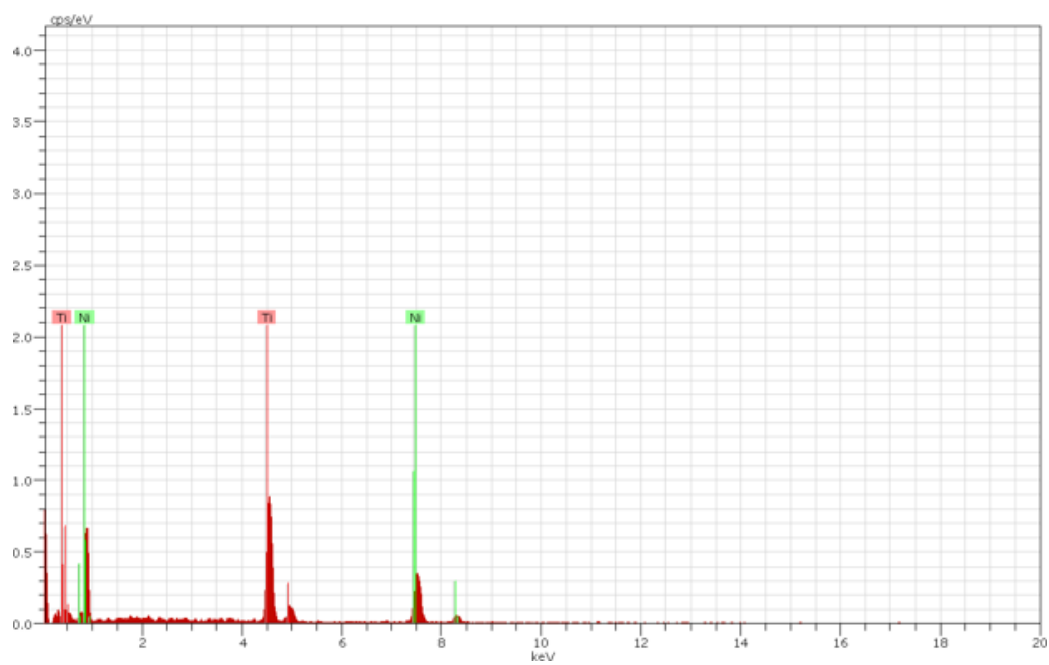
Amostra 8 – 3 a 5 mm



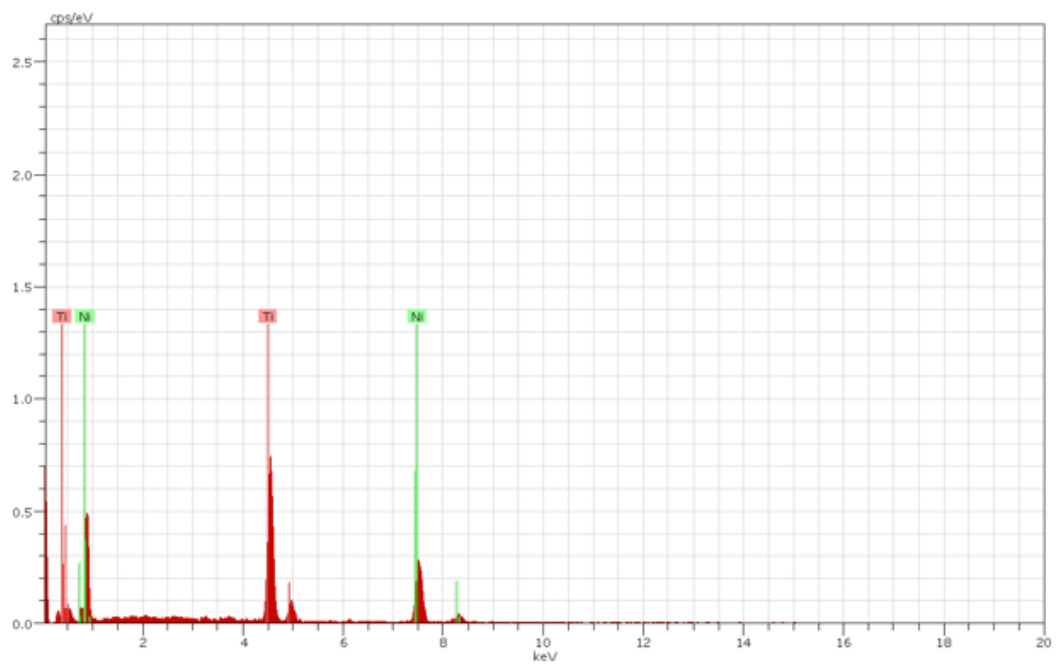
Amostra 9 – 1 a 2 mm



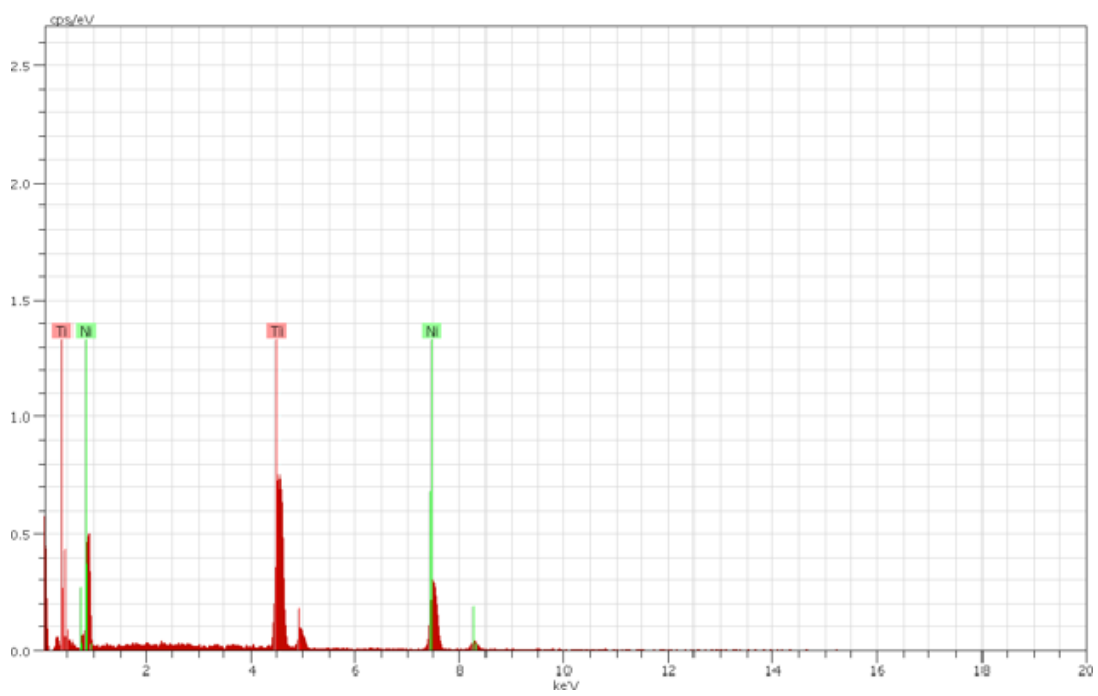
Amostra 9 – 3 a 5 mm



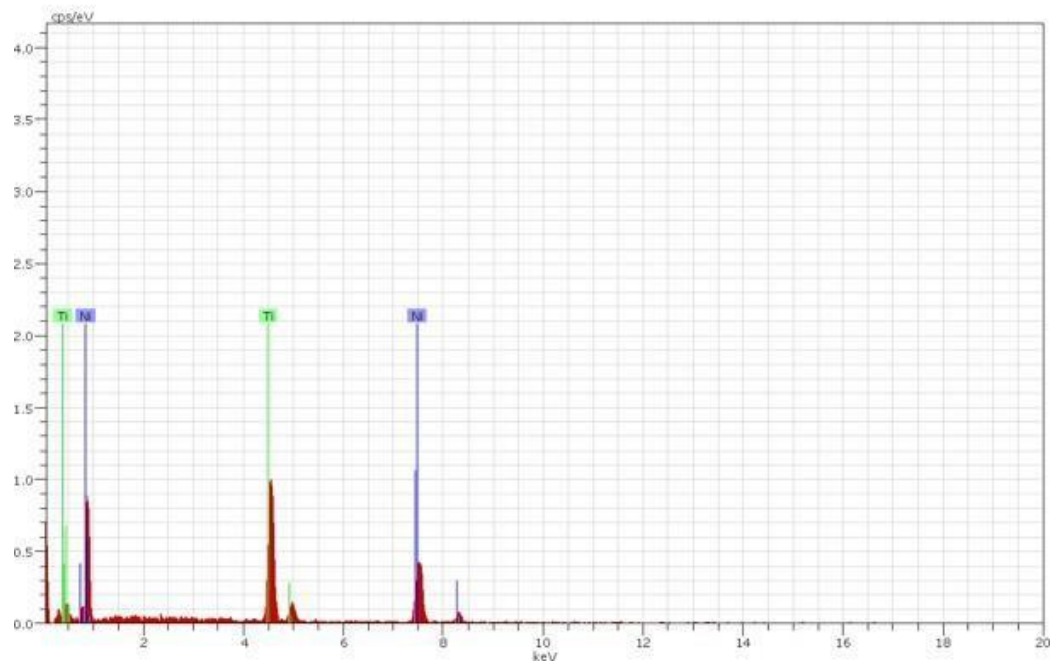
Amostra 10 – 1 a 2 mm



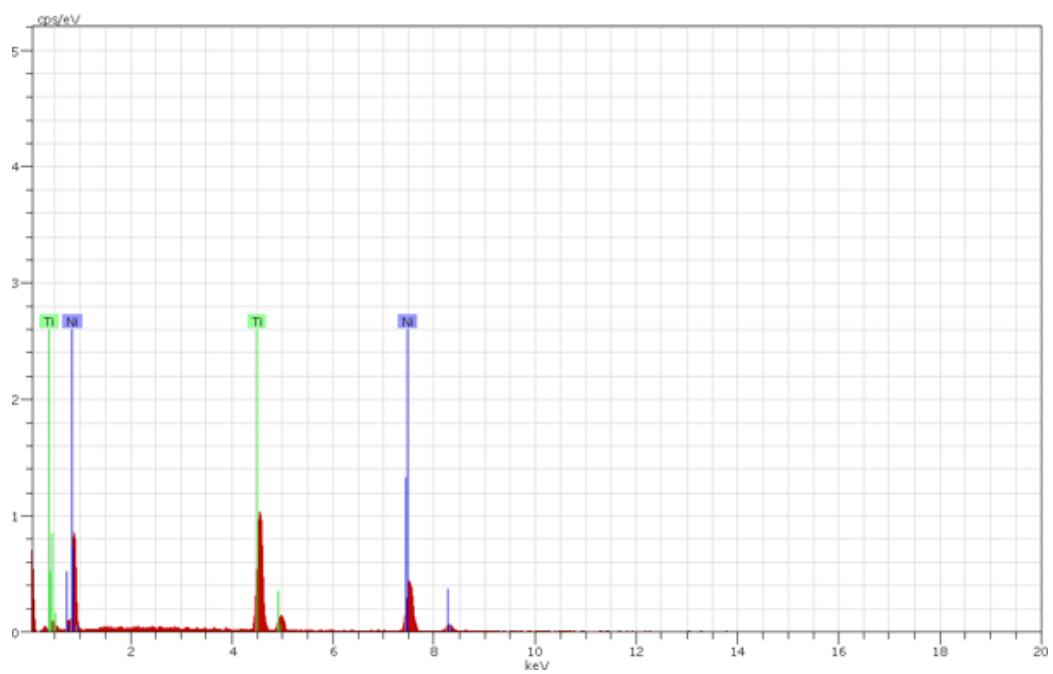
Amostra 10 – 3 a 5 mm



Amostra 11 – 1 a 2 mm



Amostra 11 – 3 a 5 mm



os ciclos de esterilização

	Localização		p-
	1-2mm	3-4mm	Valor
Relação_Ni_Ti	1.1016±0.0308	1.0837±0.0263	0,160
Relação_Ca_Ni	0.0177±0.0283	0.0226±0.0312	0,706
Relação_Ca_Ti	0.0192±0.0300	0.0239±0.0327	0,729
Relação_Zi_Ni	0.0119±0.0396	0.0113±0.0375	0,971
Relação_Zi_Ti	0.0125±0.0416	0.0117±0.0387	0,960
Ciclos	5.0909±3.1766	5.0909±3.1766	1,000
*p<0,05, teste t de Student (média±DP)			

