



**ANÁLISE MICROESTRUTURAL E QUÍMICA DE INSTRUMENTOS
ENDODÔNTICOS ROTATÓRIOS RECIPROC®:
UM ESTUDO INVESTIGATIVO**

**MICROSTRUCTURAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF RECIPROC®
ROTARY ENDODONTIC INSTRUMENTS:
AN INVESTIGATIVE STUDY**

Roberto Pinheiro BORGES¹

Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: robertopinheiroborgesp@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-1928-3895>

Francisco Anderson de Sousa SALES²

Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: andersonsousasales@alu.ufc.br

ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-8429-2128>

Luis Flávio Gaspar HERCULANO³

Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: flavioherculando@yahoo.com.br

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6110-4124>

RESUMO

Durante o tratamento endodôntico, além dos objetivos biológicos, busca-se atender aos objetivos mecânicos por meio da preservação da forma do conduto radicular, o que motivou o desenvolvimento de instrumentos endodônticos mais resistentes e a aplicação de novos métodos que otimizam o tempo clínico do tratamento. Produzido com liga M-Wire®, o sistema Reciproc® consiste no tratamento endodôntico com um único instrumento de M-Wire® NiTi em movimento recíprocante. O objetivo deste

¹ Doutor em Odontologia. Professor do Departamento de Clínica Odontológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

² Graduando em Odontologia pela Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

³ Doutor em Engenharia e Ciência de Materiais. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil.

“Os autores declaram não haver conflitos de interesse”.

Autor de correspondência: Prof. Dr. Roberto Pinheiro Borges

Rua Monsenhor Furtado S/Nº

CEP 60430-350, Fortaleza, Ceará, Brasil.

Telefone: +55 (85) 3477-3000/E-mail: robertopinheiroborgesp@gmail.com.

estudo foi analisar a superfície de fratura de instrumentos endodônticos Reciproc®, confeccionada com liga NiTi M-Wire®, de forma investigativa e sua composição química. Utilizaram-se três instrumentos Reciproc® previamente fraturados durante uso clínico. Foram realizadas as análises microestruturais das limas utilizando Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de marca Philips XL 30. A composição química foi determinada por espectroscopia de energia dispersiva (EDSX). No centro da fratura, notou-se superfície deformada com presença de *dimples* e marcas de rios. Na periferia, observou-se superfície lisa com aparência de deslizamento. A análise química demonstrou composição de 54,83% de Ni e 44,45% de Ti, dando uma proporção atômica de 1:1. Uma porcentagem de 0,72% de Al foi percebida pelo aparelho, mas corresponde à composição química da base da câmara de análises químicas. Imagens realizadas em EDSX demonstraram uma solubilidade dos compostos homogênea na superfície do instrumento. Imagens realizadas em MEV mostraram, em um instrumento Reciproc® novo, a presença de defeitos de usinagem, que agem como agente concentrador de forças. Concluiu-se que os instrumentos Reciproc® apresentaram fratura com características predominantemente de fadiga por torção.

Palavras-chave: Endodontia. Instrumento Rotatório. Reciproc. Microscopia Eletrônica de Varredura.

ABSTRACT

During endodontic treatment, in addition to biological objectives, the aim is to meet mechanical objectives, preserving the shape of the root canal, which has motivated the development of more resistant instruments and the application of new methods that optimize clinical time. Produced with M-Wire® alloy, the Reciproc® system consists of endodontic treatment with a single M-Wire® NiTi instrument in reciprocating motion. The objective of this study was to analyze the fracture surface of Reciproc® endodontic instruments, made with M-Wire® NiTi alloy, in an investigative manner and their chemical composition. Three Reciproc® instruments previously fractured during clinical use were used. Microstructural analyses of the files were performed using a Philips XL 30 Scanning Electron Microscope (SEM). The

chemical composition was determined by energy dispersive spectroscopy (EDSX). At the center of the fracture, a deformed surface with dimples and river marks was observed. At the periphery, a smooth surface with a sliding appearance was observed. Chemical analysis showed a composition of 54.83% Ni and 44.45% Ti, giving an atomic ratio of 1:1. A percentage of 0.72% Al was detected by the device, but corresponds to the chemical composition of the base of the chemical analysis chamber. Images taken in EDSX demonstrated homogeneous solubility of the compounds on the surface of the instrument. Images taken in SEM showed, in a new Reciproc® instrument, the presence of machining defects, which act as a force concentrating agent. It was concluded that the Reciproc® instruments presented fractures with predominantly torsional fatigue characteristics.

Keywords: Endodontics. Rotary Instrument. Reciproc. Scanning Electron Microscopy.

INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico tem como principal objetivo a descontaminação do sistema de canais radiculares, promovendo a remoção de bactérias, suas toxinas e tecidos pulparem remanescentes, de modo a estabelecer condições favoráveis para o adequado selamento do conduto por meio da obturação (Gomes, Aveiro, Kishen, 2020). Paralelamente aos objetivos biológicos, é fundamental a preservação da anatomia original do conduto, contemplando também aspectos mecânicos. Com esse propósito, diversos instrumentos endodônticos foram desenvolvidos, visando atender simultaneamente às exigências biológicas e mecânicas do preparo endodôntico (Lacerda *et al*, 2017; Pérez *et al*, 2020; Orel *et al*, 2022).

Ao longo dos anos, os instrumentos endodônticos passaram por contínuos aprimoramentos, impulsionados pela aplicação de novos métodos destinados a aumentar sua resistência mecânica e, concomitantemente, a reduzir o tempo clínico necessário para a realização do tratamento. Nesse contexto, instrumentos rotatórios foram introduzidos no mercado, demonstrando redução significativa do tempo clínico (Guelzow *et al*, 2005). Um dos avanços que mais contribuíram para o aumento da resistência dos instrumentos foi a utilização de ligas de Níquel-Titânio (NiTi), que

proporcionam maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica, aliadas a novos métodos de fabricação. Dessa forma, a evolução dos instrumentos endodônticos, especialmente aqueles confeccionados com ligas de NiTi, revolucionou a prática clínica ao reduzir substancialmente o risco de fraturas durante a instrumentação (Walia, Brantley, Gerstein, 1988; Fayyad, Elgendy, 2011; Gündoğar *et al*, 2019).

Entre as ligas NiTi desenvolvidas, destaca-se a M-Wire®, obtida por meio de tratamento térmico que visa a aumentar a dureza do material, promovendo alterações na transformação de fases metalúrgicas e, conseqüentemente, conferindo-lhe maior resistência mecânica e flexibilidade (Gündoğar *et al*, 2019). O comportamento mecânico das ligas de NiTi está intrinsecamente relacionado às fases presentes em sua microestrutura, bem como às proporções e características de cada uma delas. Enquanto as limas fabricadas com ligas convencionais de NiTi apresentam predominantemente fase austenítica, as ligas M-Wire® são caracterizadas por uma maior presença de fase martensítica (Shen *et al*, 2013; Ruiz-Sánchez *et al*, 2020). Complementarmente, Alapati e colaboradores (2005) identificaram, nas ligas M-Wire®, a coexistência de martensita, austenita e fase-R, evidenciando a complexidade estrutural e os possíveis impactos dessas combinações nas propriedades clínicas dos instrumentos.

Pereira *et al*. (2012) avaliaram as propriedades mecânicas de instrumentos endodônticos confeccionados com a liga M-Wire® em comparação aos instrumentos convencionais de níquel-titânio (NiTi), observando que aqueles produzidos com M-Wire® apresentaram maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica. Esses resultados foram corroborados por estudos subsequentes, que também evidenciaram o desempenho superior dos instrumentos fabricados com M-Wire®, especialmente em canais radiculares curvos (Karataş *et al*, 2015; Elnaghy, Elsaka, 2018).

De acordo com Ye e Gao (2012), a superior resistência dos instrumentos M-Wire® pode ser atribuída à sua microestrutura martensítica nanocristalina, que contribui para o aprimoramento das propriedades mecânicas. Esse fenômeno está relacionado à redução do tamanho de grão, um fator que, conforme evidenciado em diversas ligas metálicas, resulta em um aumento significativo na resistência mecânica do material.

Produzido com liga M-Wire®, o sistema Reciproc® (Advanced Technology

Research S.r.L. – Pistoia, Itália) consiste no tratamento endodôntico com um único instrumento de M-Wire® NiTi em movimento recíprocante, ou seja, o instrumento passa por vários ciclos para completar o giro de 360°. O ângulo na direção de corte é maior do que o na direção oposta, de forma que o instrumento avança continuamente ao ápice. Em seu movimento recíprocante, os motores VDW RECIPROC® têm uma rotação em giros com ângulos precisos, reduzindo o risco de fratura de instrumento (Yared, 2008; Coelho, Rios, Bueno, 2018; Camargo *et al*, 2020).

O movimento recíprocante, comparado ao movimento contínuo, reduz o tempo clínico de preparação do canal, aumenta o tempo de vida e a eficiência de corte do instrumento, confere maior flexibilidade e reduz o estresse torsional, dando maior resistência à fadiga cíclica e reduzindo o risco de fratura por torção. Isso se dá por seu movimento prevenir o *taper lock*, ou seja, o bloqueio da ponta do instrumento (You *et al*, 2010). Outros estudos demonstraram que o movimento recíproco reduz o risco de fratura por fadiga cíclica, enquanto que o movimento contínuo reduz o risco de fratura por torção (Kim *et al*, 2012; Gavini *et al*, 2012; Arias, Perez-Higueras, Macorra, 2012).

Os instrumentos de NiTi podem ser fraturados por falha por torção, flexão ou flambagem. A fratura por torção ocorre quando a ponta do instrumento trava, induzindo uma deformação plástica no instrumento que levará a uma concentração de forças e, conseqüente, fratura. A fratura por flexão ocorre em curvaturas onde o instrumento é submetido a repetidas forças de tração e compressão em determinada área. A fratura por flambagem, por sua vez, ocorre quando o instrumento é submetido a carga apical, causando um carregamento compressivo em direção ao seu longo eixo, sendo o seu avanço apical maior superior à capacidade de corte (You *et al*, 2010; Lopes, Siqueira, 2020; Keskin *et al*, 2020).

Sattapan e colaboradores (2000), avaliaram deformações de 378 limas de NiTi descartadas durante seis meses por um mesmo profissional especialista em endodontia. Os instrumentos foram descartados pela redução de eficiência de corte, fratura, ou defeitos visíveis clinicamente. 20,9% de todos os instrumentos apresentaram fratura. Dentre estes, 55,7% mostraram fratura com características de falha por torção e 44,3% por flexão.

A fratura pode ocorrer de forma dúctil ou frágil. Na fratura frágil, não há

deformação plástica prévia, enquanto na fratura dúctil observa-se uma deformação plástica contínua, com a nucleação, crescimento e coalescência de microcavidades. Macroscopicamente, a fratura frágil é caracterizada por uma superfície lisa e brilhante, ao passo que, microscopicamente, evidencia a presença de marcas denominadas “marcas de rios”. Em contraste, a fratura dúctil apresenta uma superfície rugosa e opaca, com microcavidades características chamadas de *dimples* (Van Vlack, 1970; Moreira-Filho, 2006; Rubio, Zarzosa, Pallarés, 2019; Lopes, Siqueira, 2020).

Alapati e colaboradores (2005) estudaram 48 limas de NiTi fraturadas que apresentaram superfície de fratura com característica predominantemente dúctil, com presença de *dimples*, evidenciando deformação prévia e falha por torção. As superfícies de fratura apresentaram, em menor proporção, áreas de característica frágil, evidenciando o rasgamento da superfície. Spanaki-Voreadi, Kerezoudis e Zinelis (2006) estudaram 46 limas de NiTi com defeito. 73,9% apresentaram fratura sem deformação plástica, 17,4% deformação plástica sem fratura e 8,7% fratura com deformação plástica. Ainda neste estudo, a análise de superfície de uma lima *ProTaper* apresentou um padrão dúctil com presença de estrias de fadiga na região adjacente ao fio de corte.

Barbosa, Gomes e Araújo (2008) demonstrou que limas de NiTi fraturadas por torção apresentam padrão de fotomicrografia com duas diferentes áreas: uma central, com presença de *dimples* e outra circundante, com ausência de *dimples* e de característica regular. Conforme os autores, instrumentos fraturados por flexão também evidenciam duas diferentes áreas: uma com a presença de estrias radiais partindo de um ponto localizado próximo à borda e outra caracterizada pela presença de *dimples*.

De modo geral, o constante avanço das tecnologias endodônticas tem propiciado melhorias significativas, com o intuito de tornar os tratamentos mais seguros, eficazes e previsíveis. Assim, o objetivo deste estudo é realizar uma análise detalhada da fotomicrografia das superfícies de fratura de instrumentos endodônticos Reciproc®. A investigação será conduzida com foco nas características das fraturas, permitindo a compreensão das possíveis falhas mecânicas associadas ao uso desses instrumentos. Por meio dessa análise, pretende-se identificar padrões de

deformação e os fatores que influenciam a integridade estrutural dos instrumentos durante o tratamento endodôntico, contribuindo para o aprimoramento das técnicas e materiais utilizados na prática clínica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

No desenvolvimento de todas as etapas deste trabalho foram utilizadas três limas comerciais, do sistema Reciproc® (Advanced Technology Research S.r.L. – Pistoia, Itália) de tamanho R25. Os instrumentos foram fraturados durante uso clínico em uma clínica particular de Fortaleza, Ceará. Após o último uso, foram higienizadas com sabão degermante e autoclavadas.

Composição Química

A composição química dos instrumentos foi determinada por espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDSX), utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura Inspect 50 da Central Analítica do Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Foram feitas varreduras pontuais e de área, buscando uma composição química mais precisa.

Preparação dos Corpos de Prova

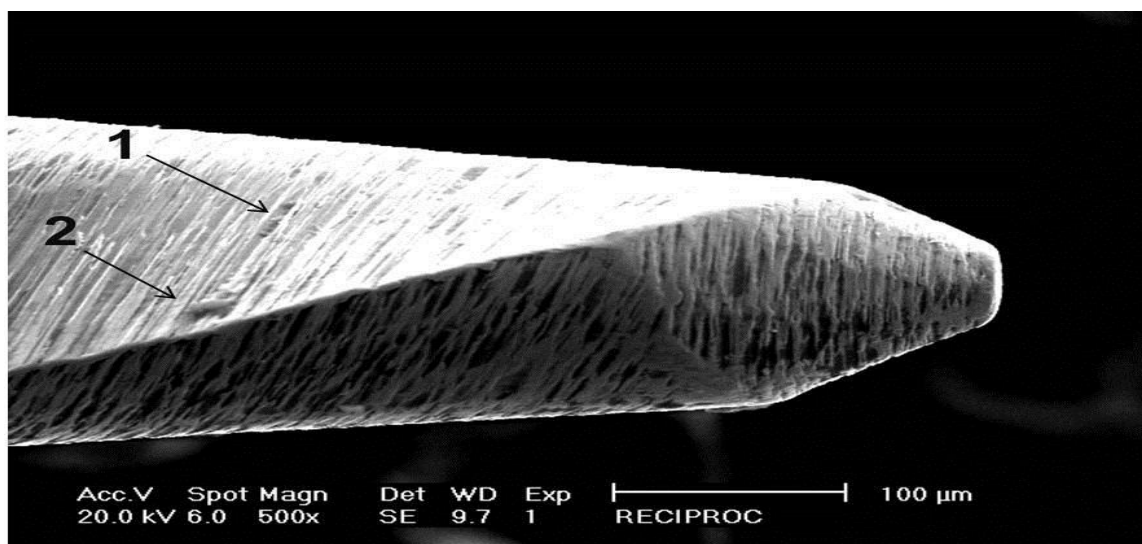
Os instrumentos fraturados foram colocados em um suporte de alumínio adaptado aos diâmetros das brocas, permitindo analisar as fraturas de diversas posições. Assim, tornou-se possível realizar análise de superfície em Microscópio Eletrônico de Varredura Philips XL30 (Royal Philips Electronics Ltd, Holanda). Foram utilizadas ampliações de 500x, 2500x e 5000x, buscando caracterizar a morfologia das fraturas. As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC).

RESULTADOS

Observou-se em lima nova (**Fig. 1**), a presença de cratera e rebarba decorrentes do processo de usinagem. Nas limas fraturadas (**Fig. 2**), observaram-se

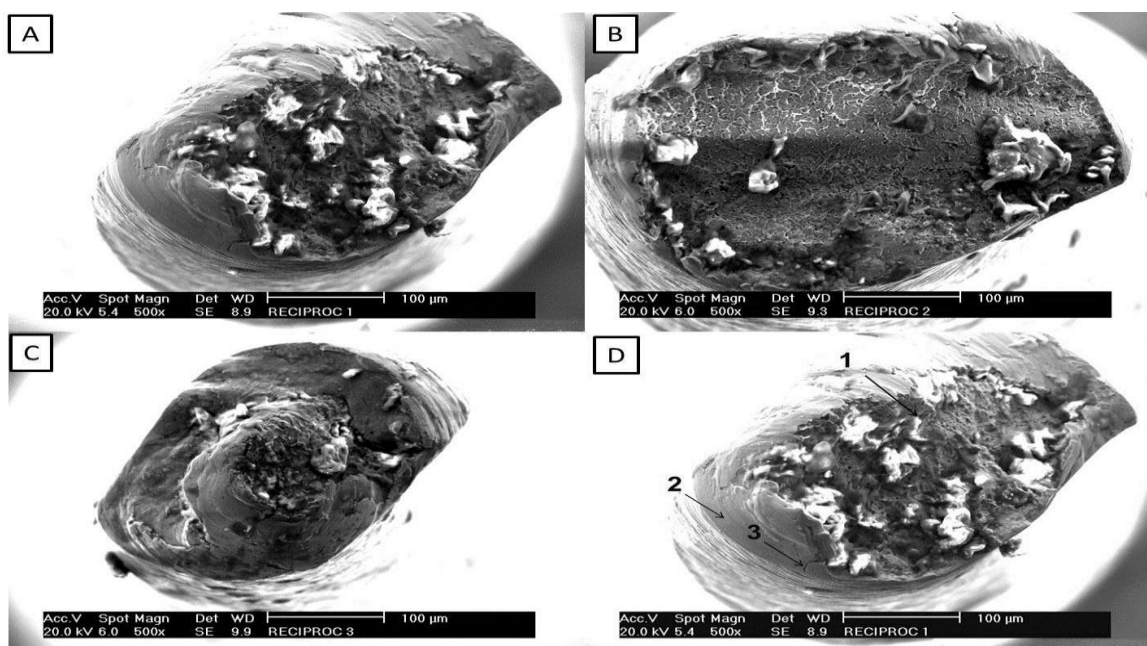
áreas de superfície lisa, regiões deformadas e trincas. Na superfície deformada, nota-se presença de microcavidades ou *dimples* (**Fig. 3**), bem como estrias de fadiga, também denominadas marcas de rios e presença de inclusão (**Fig. 4**). As trincas apareceram tanto no centro da superfície de fratura, quanto nas bordas da mesma (**Fig. 5**).

Figura 1: A análise por MEV, utilizando elétrons secundários (SE) para revelar a topografia da superfície, mostra a presença de irregularidades superficiais decorrentes do processo de usinagem. (1) Cratera; (2) Rebarba.



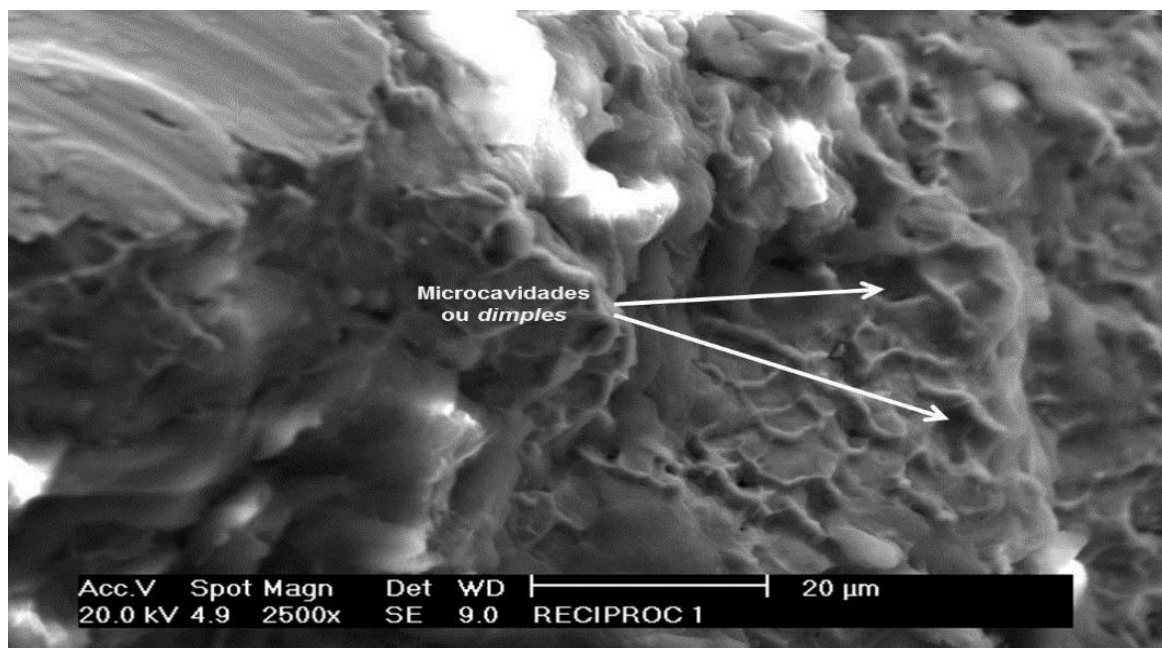
Fonte: LACAM-UFC.

Figura 2: Superfícies de fratura das Reciproc (A) R1, (B) R2 e (C) R3. Em D, a superfície de fratura de R1 apresenta (1) região deformada, (2) região lisa e (3) trinca na borda do instrumento.



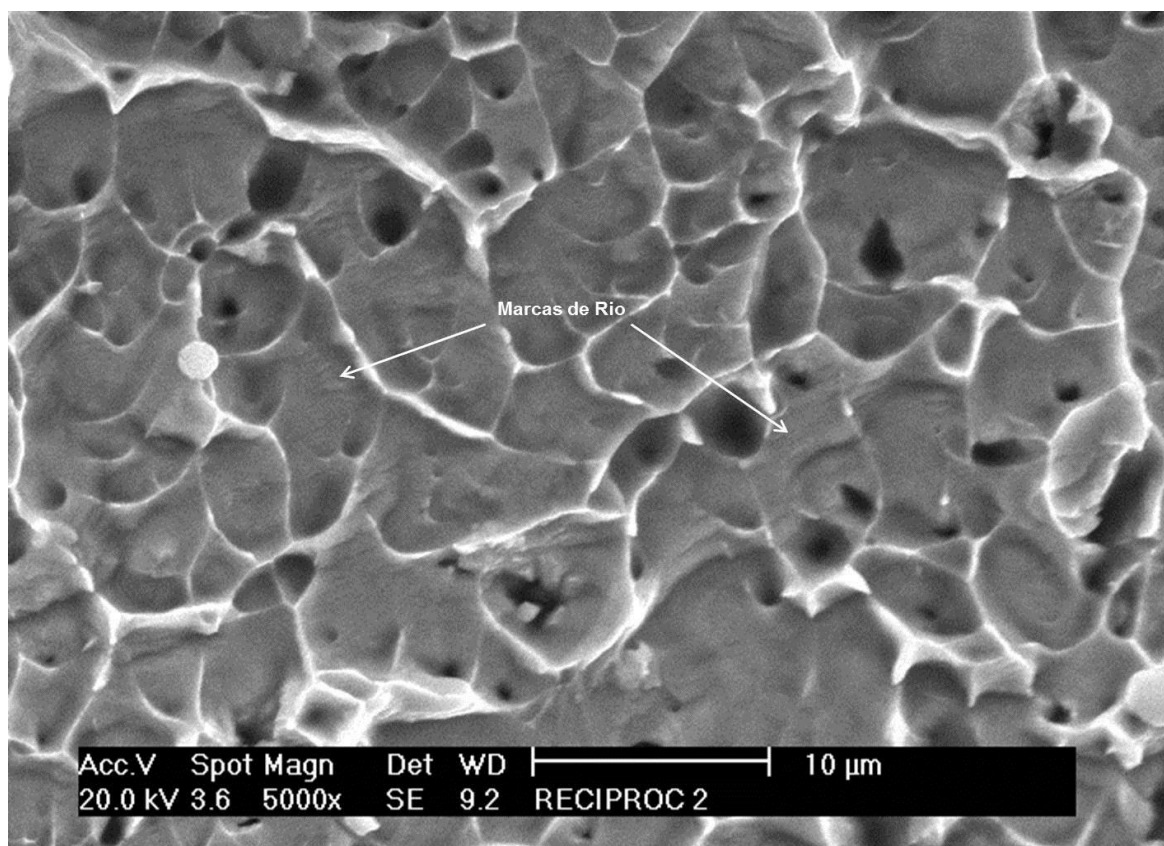
Fonte: LACAM-UFC.

Figura 3: Aumento de 2500x na área central de R1, demonstrando presença de microcavidades ou *dimples*.



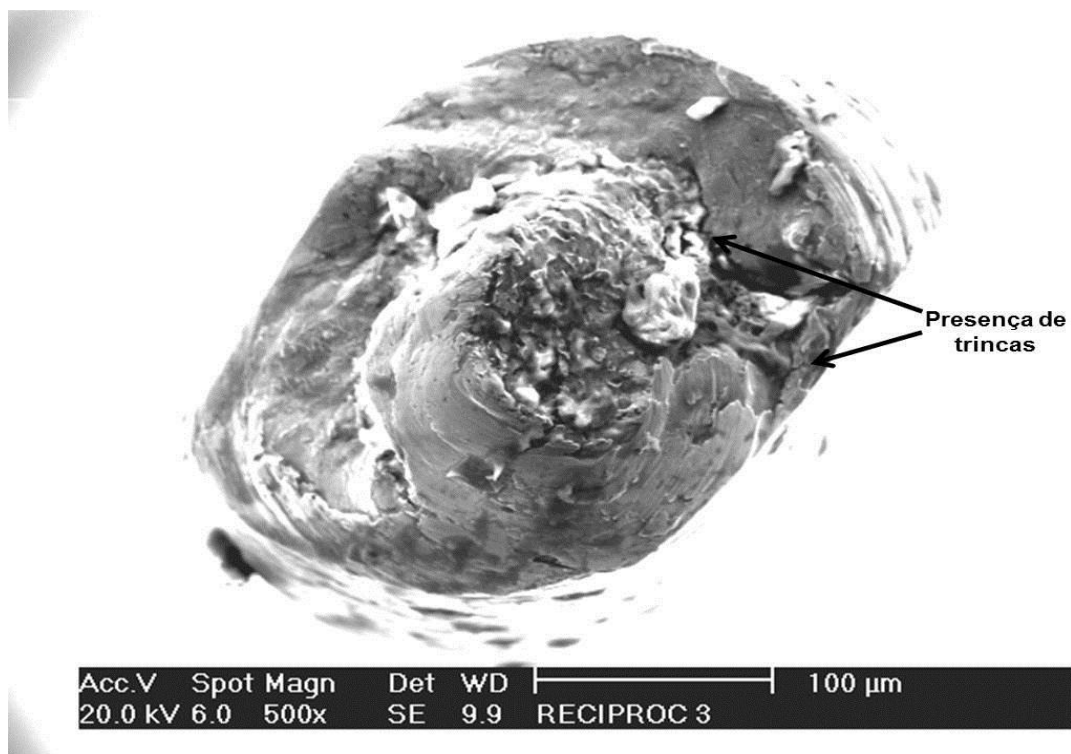
Fonte: LACAM-UFC.

Figura 4: Aumento de 5000x na área central de R2, demonstrando marcas de rio.



Fonte: LACAM-UFC.

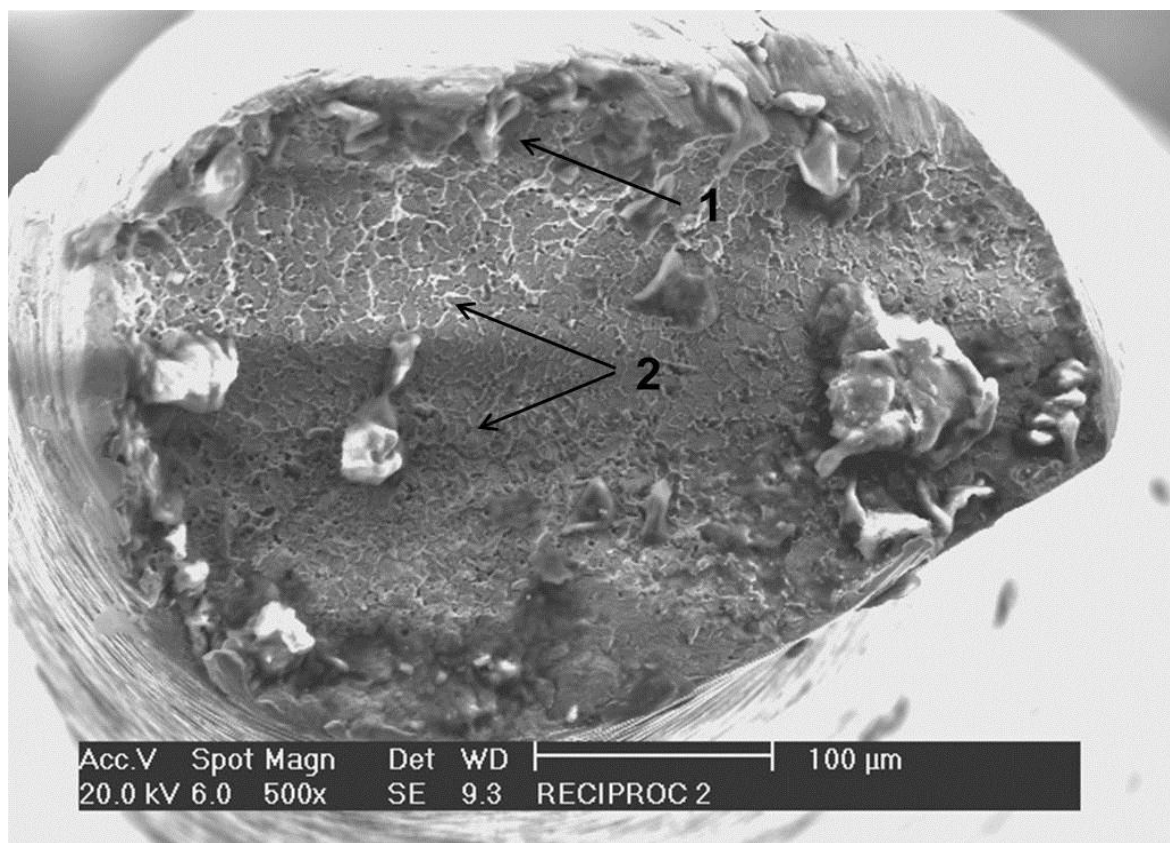
Figura 5: Aumento de 500x em superfície de fratura de R3, demonstrando a presença de trincas tanto na área central da superfície quanto na borda.



Fonte: LACAM-UFC.

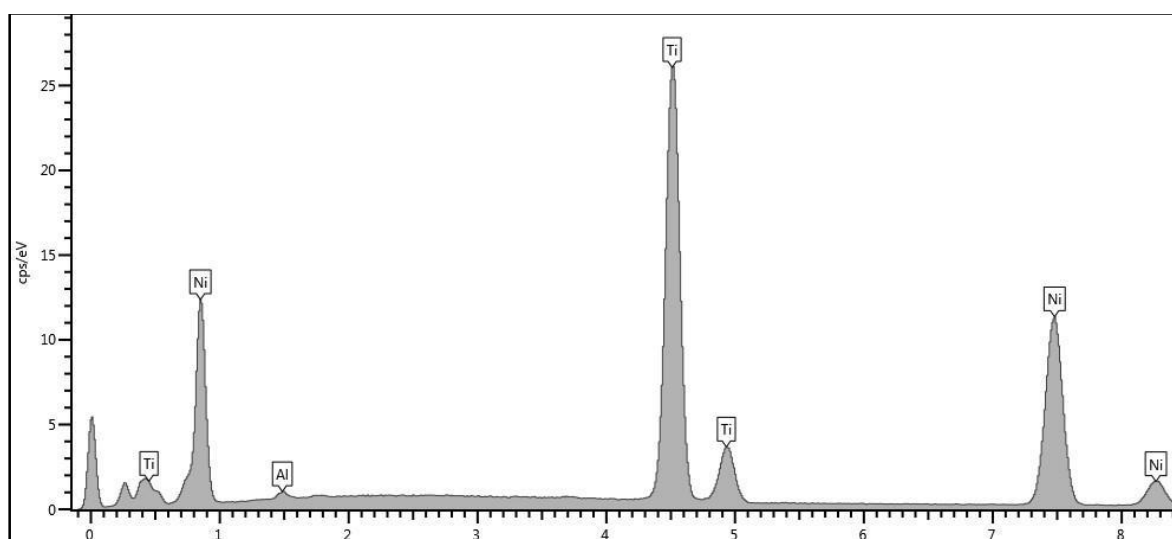
No aspecto geral da superfície de fratura da R2 (**Fig. 6**), há a presença de degraus. Esta apresentou, ainda, deformação plástica na região final de fratura. No mapa de fases da matriz da Reciproc®, a composição química obtida pelo EDSX foi de 54,83% de Ni, 44,45% de Ti e 0,72% de Al (**Diagrama 1**). No mapeamento de distribuição dos elementos químicos da Reciproc® (**Fig. 7**), observou-se que os elementos químicos estão distribuídos de forma homogênea.

Figura 6: (1) Deformação plástica na região final de fratura; (2) Diferença de nível na mesma fratura, denominada degrau.



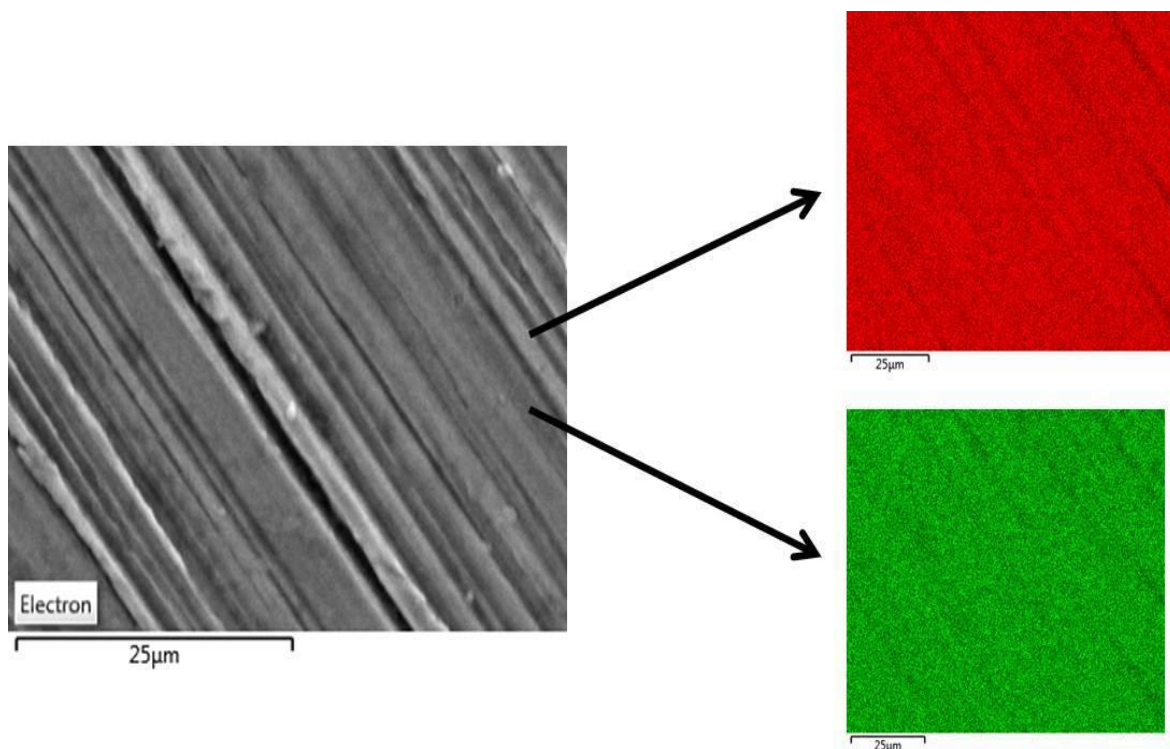
Fonte: LACAM-UFC.

Diagrama 1: Microanálise por energia dispersiva de Raios X (EDSX).



Fonte: LACAM-UFC.

Figura 7: Mapeamento de distribuição dos elementos químicos da Reciproc®.



Fonte: LACAM-UFC.

DISCUSSÃO

Pesquisas demonstram que imperfeições decorrentes de processos de fabricação ou usinagem atuam como concentradores de tensão, aumentando significativamente o risco de fratura do instrumento, mesmo sob esforços reduzidos (Alapati *et al.*, 2005; Spanaki-Voreadi, Kerezoudis, Zinelis, 2006). No presente estudo, foram identificadas crateras e rebarbas em um instrumento Reciproc® sem uso, demonstrando a presença de deformações de fabricação no instrumento, semelhante ao estudo de Alapati *et al.* (2005).

Um processo de polimento eletrolítico tem demonstrado ser um procedimento eficaz na redução dessas deformações, deixando a superfície mais polida através de um processo de corrosão, mas é utilizado apenas em limas de aço inoxidável (Walia, Brantley, Gerstein, 1988; Lin, Lin, Chen, 2000; Silva, 2004). Outros autores demonstraram que a realização de polimento eletroquímico em limas de NiTi deixa a superfície mais regular e livre de tensões, apresentando vida de fadiga mais longa (Silva, 2004; Anderson, Price, Parashos, 2007). Em contrapartida, Barbosa, Gomes e Araújo (2008) demonstraram que este procedimento não obteve os resultados

esperados em instrumentos K3 (SDS Kerr, Glendora, CA), achado que corrobora com os achados de Cheung *et al.* (2005).

Os resultados obtidos neste estudo foram consistentes com os de pesquisas anteriores que observaram um padrão de fratura por torção em instrumentos de NiTi, evidenciando duas diferentes áreas na superfície de fratura: uma no centro, com presença de *dimples*, e uma periférica, sem a presença de *dimples* e com aspecto regular e liso (Barbosa, Gomes e Araújo, 2008; Cheung *et al.*, 2005; Abu-Tahun *et al.*, 2018). Este tipo de fratura é ocasionado pela força excessiva aplicada apicalmente durante a instrumentação (Yared, Dagher, Machtou, 1999; Sattapan *et al.*, 2000; Jamleh *et al.*, 2014; Nardo *et al.*, 2021).

Alapati *et al.* (2005) investigaram limas de NiTi fraturadas e observaram que, em geral, a superfície de fratura apresentava características típicas de fratura dúctil, evidenciadas pela presença de *dimples* e por uma deformação prévia permanente. Para diversos autores, a fratura dúctil sem deformação plástica é causada por um fator único durante a instrumentação (Alapati *et al.*, 2005; Spanaki-Voreadi, Kerezoudis, Zinelis, 2006; Cheung *et al.*, 2005; Abu-Tahun *et al.*, 2018; Kurt *et al.*, 2020). A análise das superfícies de fratura dos instrumentos realizada neste estudo revelou regiões com características tanto de fratura dúctil quanto frágil. Na área de fratura dúctil, foram observados *dimples* e, internamente a estes, marcas de rio, que são considerados achados típicos de falha por fadiga, além de inclusões e deformação plástica, sugerindo que a fratura não foi ocasionada por um único fator.

A análise química realizada por EDSX mostrou a composição do instrumento Reciproc com percentuais de 54,83% de Ni, 44,45% de Ti e 0,72% de Al. Porém, o elemento Al corresponde à composição da base do aparelho EDSX, não estando presente no instrumento em si. Com isto, a proporção atômica de Níquel e Titânio é de 1:1. Seguindo este achado, o mapa de fases da matriz da Reciproc® demonstrou uma homogeneidade entre os elementos, mostrando ausência de concentração atômica, ou seja, uma alta solubilidade entre os elementos. Esta homogeneidade estrutural da liga, conforme alguns autores, interfere nas propriedades do material e demonstra equilíbrio, com constância de características das fases com o tempo (Van-Vlack, 1970; Hamdy *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2023).

Dessa forma, os achados da presente pesquisa reforçam a importância do

controle de qualidade durante o processo de fabricação de instrumentos endodônticos e da composição homogênea das ligas de NiTi na durabilidade dos dispositivos. A presença de deformações de fabricação, mesmo em instrumentos novos, e os padrões de fratura observados corroboram com a literatura vigente (Alapati *et al*, 2005; Cheung *et al*, 2005; Barbosa, Gomes, Araújo, 2008), indicando que múltiplos fatores podem contribuir para a falha dos instrumentos durante a prática clínica.

CONCLUSÃO

Concluiu-se que os instrumentos Reciproc® apresentaram fratura com características predominantemente de fadiga por torção. Não foi notado diferenças dignas de nota entre as superfícies de fratura das limas Reciproc® analisadas e de outras limas rotatórias de NiTi analisadas em estudos anteriores, concluindo que a ação de resfriamento da liga NiTi M-Wire® em comparação com ligas de NiTi convencionais, não influenciou na superfície de fratura.

REFERÊNCIAS

- ABU-TAHUN, I. H. et al. Microscopic Features of Fractured Fragment of Nickel-Titanium Endodontic Instruments by Two Different Modes of Torsional Loading. **Scanning**, v. 2018, p. 1–5, 2018.
- ALAPATI, S. et al. SEM Observations of Nickel-Titanium Rotary Endodontic Instruments that Fractured During Clinical Use. **Journal of Endodontics**, v. 31, n. 1, p. 40–43, jan. 2005.
- ANDERSON, M. E.; PRICE, J. W. H.; PARASHOS, P. Fracture Resistance of Electropolished Rotary Nickel-Titanium Endodontic Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 33, n. 10, p. 1212–1216, out. 2007.
- ARIAS, A.; PEREZ-HIGUERAS, J. J.; MACORRA, J. C. Differences in cyclic fatigue resistance at apical and coronal levels of Reciproc and WaveOne new files. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 9, p. 1244–8, 2012.
- BARBOSA, F. O. G.; GOMES, J. A. C. P.; ARAÚJO, M. C. P. Influence of Electrochemical Polishing on the Mechanical Properties of K3 Nickel-Titanium Rotary Instruments. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 12, p. 1533–1536, 27 set. 2008.
- CAMARGO, C. H. R. et al. Cyclic fatigue, torsional failure, and flexural resistance of rotary and reciprocating instruments. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 23, n. 4,

p. 364, 2020.

CHEUNG, G. S. P. et al. Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 11, p. 802–809, nov. 2005.

COELHO, M. S.; RIOS, M. A.; BUENO, C. E. S. Separation of Nickel-Titanium Rotary and Reciprocating Instruments: A Mini-Review of Clinical Studies. **The Open Dentistry Journal**, v. 12, n. 1, p. 864–872, 25 out. 2018.

ELNAGHY, A.; ELSAKA, S. Cyclic fatigue resistance of XP-endo Shaper compared with different nickel-titanium alloy instruments. **Clinical oral investigations**, v. 22, n. 3, p. 1433–1437, 2018.

FAYYAD, D. M.; ELGENDY, A. A. E. Cutting Efficiency of Twisted versus Machined Nickel-Titanium Endodontic Files. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 8, p. 1143–1146, ago. 2011.

GAVINI, G. et al. Resistance to Flexural Fatigue of Reciproc R25 Files under Continuous Rotation and Reciprocating Movement. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 5, p. 684–687, maio 2012.

GOMES, B. P. F. A.; AVEIRO, E.; KISHEN, A. Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. **Brazilian Dental Journal**, v. 34, n. 4, p. 1–33, jul. 2023.

GUELZOW, A. et al. Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. **International Endodontic Journal**, v. 38, n. 10, p. 743–752, out. 2005.

GÜNDOĞAR, M. et al. Cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Twisted File Adaptive rotary files under different temperatures and ambient conditions. **Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects**, v. 13, n. 3, p. 166–171, 5 dez. 2019.

HAMDY, T. M. et al. Evaluation of Flexibility, Microstructure and Elemental Analysis of Some Contemporary Nickel-Titanium Rotary Instruments. **Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences**, v. 7, n. 21, p. 3647–3654, 13 out. 2019.

JAMLEH, A. et al. Endodontic instruments after torsional failure: Nanoindentation test. **Scanning**, v. 36, n. 4, p. 437–443, 9 mar. 2014.

KARATAŞ, E. et al. Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments. **International Endodontic Journal**, v. 49, n. 4, p. 361–364, 16 abr. 2015.

KESKIN, C. et al. Comparison of cyclic fatigue resistance of Rotate instrument with reciprocating and continuous rotary nickel-titanium instruments at body temperature in relation to their transformation temperatures. **Clinical Oral**

Investigations, v. 25, n. 1, p. 151–157, 15 jun. 2020.

KIM, J. Y. et al. Effect from Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Rotary Files on Torsional Resistance. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 4, p. 527–530, abr. 2012.

KURT, S. M. et al. Cyclic fatigue resistance and energy dispersive X-ray spectroscopy analysis of novel heat-treated nickel–titanium instruments at body temperature. **Microscopy research and technique**, v. 83, n. 7, p. 790–794, 14 mar. 2020.

LACERDA, M. F. L. S. et al. Cleaning and Shaping Oval Canals with 3 Instrumentation Systems: A Correlative Micro–computed Tomographic and Histologic Study. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 11, p. 1878–1884, nov. 2017.

LIN, H. C.; LIN, K. M.; CHEN, Y. C. A study on the machining characteristics of TiNi shape memory alloys. **Journal of materials processing technology**, v. 105, n. 3, p. 327–332, 1 set. 2000.

LOPES, H. P.; SIQUEIRA-JR, J. F. **Endodontia: biologia e técnica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2020.

MOREIRA-FILHO, J. **Comparação do deslocamento apical do preparo utilizando instrumentos endodônticos de NiTi acionados a motor e manualmente no preparo de canais curvos**. 2006. 70f. Dissertação (Mestrado em Odontologia). Faculdade de Odontologia, Universidade Estácio de Sá. Rio de Janeiro. 2006.

NARDO, D. *et al.* Angle of Insertion and Torsional Resistance of Nickel–Titanium Rotary Instruments. **Materials**, v. 14, n. 13, p. 3744, 4 jul. 2021.

OREL, L. et al. Comparative Assessment of the Shaping Ability of Reciproc Blue, WaveOne Gold, and ProTaper Gold in Simulated Root Canals. **Materials**, v. 15, n. 9, p. 3028, 21 abr. 2022.

PEREIRA, E. S. J. et al. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 5, p. 469–474, 2012.

PÉREZ, A. R. et al. Cleaning, Shaping, and Disinfecting Abilities of 2 Instrument Systems as Evaluated by a Correlative Micro–computed Tomographic and Histobacteriologic Approach. **Journal of Endodontics**, v. 46, n. 6, p. 846–857, jun. 2020.

PRUETT, J. P.; CLEMENT, D. J.; CARNES, D. L. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. **Journal of Endodontics**, v. 23, n. 2, p. 77–85, fev. 1997.

RUBIO, J.; ZARZOSA, J. I.; PALLARÉS, A. A Comparative Study of Cyclic Fatigue of 10 Different Types of Endodontic Instruments: an in Vitro Study. **Acta stomatologica Croatica**, v. 53, n. 1, p. 28–36, 2019.

ANÁLISE MICROESTRUTURAL E QUÍMICA DE INSTRUMENTOS ENDODÔNTICOS ROTATÓRIOS RECIPROC®: UM ESTUDO INVESTIGATIVO. Roberto Pinheiro BORGES; Francisco Anderson de Sousa SALES; Luis Flávio Gaspar HERCULANO. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2025 – MÊS DE MAIO - Ed. 62. VOL. 01. Págs. 407-423. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

RUIZ-SÁNCHEZ, C. et al. The Influence of NiTi Alloy on the Cyclic Fatigue Resistance of Endodontic Files. **Journal of Clinical Medicine**, v. 9, n. 11, p. 3755, 21 nov. 2020.

SATTAPAN, B. et al. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. **Journal of Endodontics**, v. 26, p. 161-165, 2000.

SHEN, Y. et al. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics**, v. 39, n. 2, p. 163-72, 2013.

SILVA, M. A. C. **Caracterização da vida em fadiga de limas endodônticas rotatórias de níquel-titânio**. Dissertação de Mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004.

SILVA, E. J. N. L. et al. Design, metallurgy, mechanical properties, and shaping ability of 3 heat-treated reciprocating systems: a multimethod investigation. **Clinical Oral Investigations**, v. 27, n. 5, p. 2427-2436, 7 fev. 2023.

SPANAKI-VOREADI, A. P.; KEREZOUDIS, N. P.; ZINELIS, S. Failure mechanism of ProTaper Ni-Ti rotary instruments during clinical use: fractographic analysis. **International Endodontic Journal**, v. 39, n. 3, p. 171-178, mar. 2006.

VAN-VLACK, L. H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, p. 92-104; p. 345-360, 1970.

WALIA, H.; BRANTLEY, W. A.; GERSTEIN, H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. **Journal of Endodontics**, v. 14, n. 7, p. 346-351, jan. 1988.

YARED, G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. **International Endodontic Journal**, v. 41, n. 4, p. 339-344, abr. 2008.

YARED, G. M.; DAGHER, F. E. B.; MACHTOU, P. Cyclic fatigue of Profile rotary instruments after simulated clinical use. **International Endodontic Journal**, v. 32, n. 2, p. 115-119, mar. 1999.

YE, J.; GAO, Y. Metallurgical Characterization of M-Wire Nickel-Titanium Shape Memory Alloy Used for Endodontic Rotary Instruments during Low-cycle Fatigue. **Journal of Endodontics**, v. 38, n. 1, p. 105-107, jan. 2012.

YOU, S. Y. et al. Lifespan of One Nickel-Titanium Rotary File with Reciprocating Motion in Curved Root Canals. **Journal of Endodontics**, v. 36, n. 12, p. 1991-1994, dez. 2010.