Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE

doi.org/10.51891/rease.v12i11.31654

ANÁLISE DO IMPACTO DO MOVIMENTO RECIPROCANTE NO ALÍVIO DA TENSÃO TORCIONAL EM LIMAS ÚNICAS: REVISÃO DA LITERATURA

ANALYSIS OF THE IMPACT OF RECIPROCATING MOTION ON TORSIONAL STRESS RELIEF IN SINGLE-FILE SYSTEMS: A LITERATURE REVIEW

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL MOVIMIENTO RECIPROCANTE EN EL ALIVIO DE LA TENSIÓN TORSIONAL EN LIMAS ÚNICAS: REVISIÓN DE LA LITERATURA

Luiz Felipe Sousa do Nascimento[1]
Raul Felipe Almeida Guimarães Tavares[2]
Waryson Damaceno Costa[3]
Marcilio Oliveira Melo[4]
Helton Diego Dantas Linhares[5]
Matheus Araujo Brito Santos Lopes[6]

RESUMO: O preparo químico-mecânico com sistemas de lima única de níquel-titânio busca simplificar a endodontia, porém a fratura torcional permanece uma complicação relevante. Esta revisão integrativa analisou o impacto da cinemática reciprocante na geração de torque dinâmico, tensão torcional e resistência à fratura por torção em instrumentos endodônticos de lima única. Realizou-se busca na base PubMed (2021–2026) combinando descritores MeSH e palavras do texto. Dos estudos selecionados, 12 compuseram a síntese principal e um estudo adicional foi utilizado como suporte conceitual complementar. A análise dos dados evidenciou que a cinemática reciprocante reduz o torque operatório dinâmico e atenua picos de aparafusamento em canais curvos através do desengajamento periódico das lâminas cortantes presas à dentina. Contudo, a alteração da cinemática isoladamente não modifica a resistência torcional estática limite do instrumento, a qual é determinada pela massa do núcleo metálico no terço apical (D3), pela seção transversal e pelo tratamento térmico da liga. Conclui-se que o movimento reciprocante atua de forma eficaz no alívio temporário da tensão torcional e na prevenção de sobrecargas mecânicas em canais curvos, embora não represente uma superioridade mecânica universal sobre a rotação contínua sob travamento estático.

Palavras-chave: Instrumentos Odontológicos. Movimento Reciprocante. Torção Mecânica.

ABSTRACT: Chemo-mechanical preparation using nickel-titanium single-file systems aims to simplify endodontic treatment; however, torsional fracture remains a relevant complication. This integrative review analyzed the impact of reciprocating kinematics on dynamic torque generation, torsional stress, and resistance to torsional fracture in single-file endodontic instruments. A search was conducted in the PubMed database covering the period from 2021 to 2026, combining MeSH terms and text words. Of the selected studies, 12 comprised the main synthesis, and one additional study was used as complementary conceptual support. Data analysis showed that reciprocating kinematics reduces dynamic operative torque and attenuates screw-in peaks in curved canals through the periodic disengagement of cutting blades bound to dentin. However, changing the kinematics alone does not modify the instrument's ultimate static torsional resistance, which is determined by the metal core mass in the apical third (D3), cross-sectional design, and heat treatment of the alloy. It was concluded that reciprocating motion effectively contributes to the temporary relief of torsional stress and the

[1] Discente do curso de Odontologia na Afya Centro Universitário Uninovafapi.
[2] Discente do curso de Odontologia na Afya Centro Universitário Uninovafapi.
[3] Discente do curso de Odontologia na Afya Centro Universitário Uninovafapi.
[4] Coorientador. Docente do curso de Odontologia na Afya Centro Universitário Uninovafapi.
[5] Coorientador. Docente do curso de Odontologia na Afya Centro Universitário Uninovafapi.
[6] Orientador. Docente do curso de Odontologia na Afya Centro Universitário Uninovafapi.

prevention of mechanical overload in curved canals, although it does not represent universal mechanical superiority over continuous rotation under static binding conditions.

Keywords: Dental Instruments. Reciprocating Motion. Torsion, Mechanical.

RESUMEN: La preparación quimicomecánica mediante sistemas de lima única de níquel-titanio busca simplificar el tratamiento endodóntico; sin embargo, la fractura torsional continúa siendo una complicación relevante. Esta revisión integrativa analizó el impacto de la cinemática recíproca en la generación de torque dinámico, la tensión torsional y la resistencia a la fractura por torsión en instrumentos endodónticos de lima única. Se realizó una búsqueda en la base de datos PubMed, correspondiente al período de 2021 a 2026, mediante la combinación de términos MeSH y palabras del texto. De los estudios seleccionados, 12 integraron la síntesis principal y un estudio adicional fue utilizado como apoyo conceptual complementario. El análisis de los datos demostró que la cinemática recíproca reduce el torque operatorio dinámico y atenúa los picos de atornillamiento en conductos curvos mediante el desenganche periódico de las hojas de corte atrapadas en la dentina. Sin embargo, la modificación aislada de la cinemática no altera la resistencia torsional estática máxima del instrumento, la cual está determinada por la masa del núcleo metálico en el tercio apical (D3), el diseño de la sección transversal y el tratamiento térmico de la aleación. Se concluyó que el movimiento recíproco contribuye eficazmente al alivio temporal de la tensión torsional y a la prevención de sobrecargas mecánicas en conductos curvos, aunque no representa una superioridad mecánica universal frente a la rotación continua en condiciones de bloqueo estático.

Palabras clave: Instrumentos Dentales. Movimiento Recíproco. Torsión Mecánica.

O preparo químico-mecânico do sistema de canais radiculares representa uma etapa fundamental do tratamento endodôntico, atuando diretamente na sanificação, desinfecção e modelagem tridimensional da anatomia radicular (SINGH et al., 2025; VALENTE et al., 2026). Historicamente, a introdução das ligas de níquel-titânio (NiTi) e o constante aperfeiçoamento de seus tratamentos térmicos, tais como a estabilização das fases martensítica e de Fase R, permitiram superar a rigidez característica do aço inoxidável, conferindo maior flexibilidade e capacidade de centralização aos instrumentos (VALENTE et al., 2026; CAMPOS et al., 2026). Essa evolução possibilitou o desenvolvimento dos sistemas de lima única (*single-file*), projetados para realizar a modelagem completa do canal radicular com a utilização de um único instrumento, o que simplificou a sequência operatória e reduziu substancialmente o tempo clínico de trabalho (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025; NETO et al., 2026; DURSUN; OCAK, 2026).

Apesar desses avanços tecnológicos, a fratura inesperada dos instrumentos de NiTi no interior do canal radicular permanece como uma intercorrência clínica crítica, capaz de comprometer a desinfecção adequada e prejudicar o prognóstico do dente (VALENTE et al., 2026; TAHUN et al., 2026). A falha mecânica por torção ocorre quando a ponta ou determinado segmento da lima sofre um aprisionamento físico nas paredes dentinárias (*taper lock* ou *tip*

binding) enquanto a haste do instrumento permanece em rotação pelo acionamento do motor, ultrapassando o limite elástico do metal (THU et al., 2023; OHRI et al., 2026). Do ponto de vista biofísico, é essencial diferenciar o torque, definido como o momento de força rotacional aplicado pelo motor ou gerado pelo atrito de corte (mensurado em N.cm), da tensão torcional, que corresponde à distribuição interna do estresse mecânico por unidade de área da seção transversal da lima (mensurada em MPa), a qual é diretamente influenciada pelo diâmetro e pela massa do núcleo metálico (CAMPOS et al., 2026; OHRI et al., 2026). Ademais, a falha por sobrecarga torcional não deve ser confundida com a fratura por fadiga cíclica flexural, uma vez que esta última decorre do acúmulo progressivo de ciclos alternados de tração e compressão na zona de curvatura máxima do canal, sem que haja o travamento físico do instrumento (BASTURK et al., 2022; CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025).

Na tentativa de mitigar as tensões torcionais inerentes à rotação contínua, onde o instrumento gira 360° ininterruptamente no mesmo sentido, favorecendo atrito constante e potenciais picos de torque (ASLANTAŞ et al., 2022; OMORI et al., 2022; THU et al., 2023), foram introduzidas cinemáticas não-contínuas. O movimento reciprocante convencional baseia-se na oscilação alternada de arcos rotatórios em sentidos opostos, nos quais o ângulo no sentido de corte supera o ângulo no sentido inverso, promovendo o avanço progressivo da lima (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025). Distintamente da reciprocidade convencional de ângulos fixos, os movimentos adaptativos, como do *Optimum Torque Reverse* (OTR), operam em rotação contínua e acionam a oscilação reciprocante apenas quando o torque operacional atinge um limite predeterminado (OMORI et al., 2022; YAMAMOTO et al., 2026). Ambas as abordagens se fundamentam no mecanismo de desengajamento, no qual a inversão periódica ou desencadeada pelo torque desfaz o aprisionamento das lâminas de corte na dentina, promovendo o alívio imediato da tensão torcional acumulada antes que seja atingido o ponto de ruptura da liga (OMORI et al., 2022; THU et al., 2023; YAMAMOTO et al., 2026).

Entretanto, persiste uma relevante lacuna no conhecimento científico referente ao papel isolado da cinemática no comportamento torcional de sistemas de lima única. Embora parte da literatura atribua o alívio das tensões torcionais predominantemente à alternância de movimento, investigações recentes sugerem que fatores geométricos e metalúrgicos, tais como a massa do núcleo metálico na região apical de apreensão a 3 mm da ponta (D3), a seção transversal, a conicidade e o tratamento térmico, desempenham um papel determinante na geração e na tolerância ao torque (DURSUN; OCAK, 2026; NETO et al., 2026; SILVA et al.,

2026). Dessa forma, justifica-se a realização desta revisão integrativa para sintetizar e organizar criticamente as evidências disponíveis, fornecendo aos clínicos e pesquisadores embasamento científico consistente para a seleção adequada de instrumentos e parâmetros operacionais, visando à redução do risco de acidentes por sobrecarga torcional (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025; DURSUN; OCAK, 2026).

Diante do exposto, o objetivo desta revisão integrativa da literatura foi analisar o impacto da cinemática reciprocante na geração de torque dinâmico, na tensão torcional e na resistência à fratura por torção em instrumentos endodônticos de NiTi empregados em sistemas de lima única, comparando-a à rotação contínua e identificando a influência das características geométricas e metalúrgicas sobre o desempenho mecânico dos instrumentos.

2 MÉTODOS

A presente pesquisa caracterizou-se como uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo. Por se tratar de uma revisão integrativa desenvolvida exclusivamente a partir de dados secundários de artigos científicos de domínio público previamente publicados na literatura, o presente trabalho esteve isento de submissão e apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/CONEP).

Para direcionar a busca e a análise dos dados, formulou-se a pergunta norteadora por meio da estratégia PICO, em que a População (P) correspondeu aos instrumentos endodônticos de níquel-titânio (NiTi) empregados em sistemas de lima única (*single-file*); a Intervenção (I) consistiu na utilização do movimento reciprocante; a Comparação (C) envolveu a rotação contínua, diferentes ângulos reciprocantes ou cinemáticas adaptativas; e os Desfechos (*Outcomes* - O) compreenderam o torque dinâmico, a tensão torcional, a resistência torcional, a fadiga torcional, a deformação ou a fratura por torção. Estabeleceu-se a seguinte pergunta principal: “Qual é o impacto do movimento reciprocante sobre a geração de torque e a tensão torcional em instrumentos endodônticos de níquel-titânio utilizados em sistemas de lima única?”

A busca bibliográfica foi executada exclusivamente na base de dados PubMed e foi empregada a seguinte estratégia de busca estruturada com termos MeSH e palavras do texto: (("*Dental Instruments*"[*MeSH Terms*] OR "*endodontic instrument*"[Title/Abstract] OR "nickel-titanium"[Title/Abstract] OR NiTi[Title/Abstract] OR "single-file"[Title/Abstract]) AND (reciprocat*[Title/Abstract] OR "reciprocating motion"[Title/Abstract] OR "adaptive

motion"[Title/Abstract] OR "optimum torque reverse"[Title/Abstract]) AND (torque[Title/Abstract] OR torsion*[Title/Abstract] OR "torsional stress"[Title/Abstract] OR "torsional resistance"[Title/Abstract] OR "torsional fatigue"[Title/Abstract] OR "screw-in force"[Title/Abstract])). Aplicaram-se os filtros para delimitação do período de publicação nos últimos cinco anos (2021 a 2026), disponibilidade de texto completo (*full text*) e artigos escritos em idioma inglês, com exclusão formal de pré-publicações (*preprints*).

A seleção dos estudos seguiu critérios de elegibilidade previamente definidos. Adotaram-se como critérios de inclusão: artigos científicos originais; texto completo; publicados entre 2021 e 2026; escritos em inglês; estudos *in vitro*, *ex vivo* ou computacionais; avaliação de instrumentos endodônticos de níquel-titânio; avaliação de movimento reciprocante, comparação entre reciprocidade e rotação contínua, diferentes ângulos reciprocantes ou cinemáticas adaptativas que produzam inversão do movimento; apresentação de pelo menos um desfecho torcional (torque dinâmico, pico de torque, torque acumulado, tensão torcional, resistência torcional, ângulo de rotação até a fratura, fadiga torcional, deformação ou fratura por torção, ou força de aparafusamento associada ao torque); e relação direta com sistemas de lima única ou utilização de uma mesma lima para comparar cinemáticas.

Os critérios de exclusão compreenderam: duplicatas; revisões narrativas, integrativas ou sistemáticas como parte da amostra principal; editoriais, cartas, opiniões, resumos de congresso e materiais comerciais; estudos sem texto completo; estudos exclusivamente sobre limpeza, modelagem, transporte, extrusão apical ou remoção de material obturador; estudos exclusivamente sobre fadiga cíclica flexural, sem avaliação ou contribuição direta para um desfecho torcional; estudos exclusivamente sobre instrumentos de *glide path*; estudos de sistemas sequenciais que não permitiram analisar o efeito da cinemática sobre uma lima definida; estudos sem movimento reciprocante ou movimento de reversão; e estudos sem resultados relacionados à pergunta norteadora.

A busca inicial identificou exatamente 28 registros científicos no PubMed. Após a checagem de integridade, constatou-se a ausência de duplicatas exatas entre os artigos localizados. A triagem por título e resumo resultou na seleção de 13 artigos para leitura completa, 12 exclusões diretas e 3 artigos classificados temporariamente como incertos. Após a leitura integral minuciosa dos 16 textos completos (incluindo a reavaliação detalhada dos 3 incertos), 12 artigos atenderam integralmente a todos os critérios de inclusão para a síntese principal e 1 artigo foi selecionado como suporte conceitual complementar para introdução e discussão,

totalizando 12 estudos primários incluídos, 1 estudo de suporte conceitual e 15 artigos excluídos após avaliação completa.

A extração dos dados dos 12 estudos primários da síntese principal foi realizada de forma padronizada em matriz tabulada, coletando-se: autoria e ano, país de origem, desenho do estudo, tamanho da amostra, instrumentos testados, liga metálica e tratamento térmico, tamanho apical e conicidade, seção transversal, cinemática, ângulos, velocidade, torque programado do motor, modelo experimental, temperatura do ensaio, forma de aprisionamento, comparador, desfecho avaliado, unidade de medida, resultados numéricos, significância estatística (valor de p), conclusões dos autores, limitações e relação com a pergunta norteadora. Quando uma informação esteve ausente no texto original, registrou-se formalmente "não informado". Os desfechos extraídos foram agrupados conforme o fenômeno físico-mecânico efetivamente medido: torque dinâmico durante a instrumentação; força axial ou força de aparafusamento; resistência torcional estática até a fratura; ângulo de rotação até a fratura; fadiga torcional por cargas repetidas; deformação ou fratura torcional; fadiga cíclica flexural e análise de tensão por elementos finitos.

Realizou-se uma avaliação crítica descritiva dos aspectos metodológicos dos estudos incluídos, analisando-se 17 itens estruturais sem a atribuição de pontuação ou *scores* numéricos. Cada parâmetro foi classificado em: informado adequadamente, parcialmente informado, não informado ou não aplicável, identificando-se narrativamente as limitações metodológicas mais frequentes na literatura disponível. A síntese dos resultados deu-se de forma qualitativa e narrativa. Não foi realizada metanálise em razão da acentuada heterogeneidade metodológica entre os estudos incluídos, os quais variaram quanto aos modelos experimentais (*in vitro*, *ex vivo*, computacionais), substratos (blocos de resina acrílica vs. dentina humana extraída), temperaturas de teste, velocidades e parâmetros de ensaios estáticos normatizados ISO versus operatórios dinâmicos.

3 RESULTADOS

A busca bibliográfica inicial na base de dados PubMed identificou 28 registros científicos. Após a verificação de integridade, constatou-se a ausência de duplicatas exatas, sendo todos os 28 registros submetidos à triagem por título e resumo. Nessa etapa inicial de triagem, 12 artigos foram excluídos por não cumprirem os critérios de elegibilidade e 3 foram classificados temporariamente como incertos. Para a etapa de avaliação por leitura integral,

foram analisados 16 textos completos (13 artigos pré-selecionados e 3 artigos incertos). Após a leitura na íntegra, os 3 artigos incertos foram excluídos por não apresentarem desfechos torcionais diretos, totalizando 15 estudos excluídos ao longo do processo de seleção. Ao final, 12 estudos atenderam aos critérios estabelecidos para a síntese principal, enquanto um artigo adicional foi utilizado como suporte conceitual complementar.

A caracterização dos 12 estudos primários da síntese principal revelou publicações distribuídas entre os anos de 2022 e 2026, com origem no Brasil (3 estudos), Turquia (3 estudos), Japão (3 estudos), Portugal (1 estudo), Colômbia (1 estudo) e Jordânia (1 estudo). Quanto aos modelos experimentais, considerando que alguns estudos empregaram mais de uma abordagem metodológica e, portanto, as categorias não foram mutuamente exclusivas, 6 estudos executaram ensaios de torção estática padronizados conforme a norma ISO 3630-1, 5 estudos utilizaram ensaios operatórios dinâmicos de torque e força em tempo real (em dentes humanos extraídos ou blocos de resina acrílica) e 2 estudos integraram análises computacionais por Elementos Finitos (FEA) e Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD).

3.1 Torque dinâmico e força axial durante a instrumentação

Em blocos de resina acrílica com canais curvos de 35°, Aslantaş et al. (2022) observaram que o instrumento WaveOne Gold Primary gerou torque operatório máximo (0,20 [0,10–0,30] N.cm) significativamente menor do que os sistemas Reciproc Blue R25 (0,50 [0,30–0,80] N.cm) e ProTaper Next X2 (0,80 [0,40–1,20] N.cm) ($p < 0,05$), e que a adição do surfactante cloreto de benzalcônio ao NaOCl a 5,25% não alterou estatisticamente os valores de torque máximo ($p > 0,05$). Em blocos de resina com canais em J, Omori et al. (2022) constataram que o torque gerado no sentido anti-horário (desengate) seguiu a ordem R240/120 (~8 N.mm no ProTaper Gold F1) > OTR (~5 N.mm) > R150/30 (~3 N.mm) > rotação contínua (0 N.mm) ($p < 0,05$), e que o movimento adaptativo OTR produziu o menor torque horário de corte tanto no ProTaper Gold F1 quanto no ProTaper Universal F1 em relação à rotação contínua ($p < 0,05$).

Em dentes humanos extraídos com canais de curvatura severa (35°–40°), Thu et al. (2023) verificaram que a rotação contínua com o instrumento JIZAI #25/.04 apresentou torque dinâmico de 10,70 [8,47–10,87] N.mm e força de aparafusamento de 4,02 [1,86–8,12] N; o OTR registrou torque dinâmico de 6,53 [3,38–9,50] N.mm e força de 1,65 [1,14–6,31] N; e a reciprocidade (REC) registrou torque de 5,34 [3,66–13,27] N.mm e força de 5,23 [2,05–10,73] N, demonstrando que a introdução da curvatura aumentou o torque e a força na rotação contínua ($p < 0,05$),

mantendo-os controlados nas cinemáticas com inversão. Em pré-molares humanos submetidos a avanço mecânico com o sistema JIZAI #25/.04, Yamamoto et al. (2026) constataram que a força de aparafusamento sob OTR a 3 N foi significativamente menor que sob OTR a 2 N ($p < 0,05$), e que o torque horário máximo não apresentou diferença estatisticamente significativa entre as cargas de 1 N, 2 N e 3 N tanto em rotação contínua quanto em OTR ($p > 0,05$).

Em pré-molares humanos extraídos mantidos a 37 °C, Dursun & Ocak (2026) demonstraram que a solução irrigante (NaOCl 5%, EDTA 17% ou Soro Fisiológico) não produziu diferença estatisticamente significativa no torque operatório médio ($p = 0,705$) ou no pico de torque máximo ($p = 0,582$). Entretanto, o sistema de lima influenciou significativamente o torque dinâmico ($p = 0,001$): o T-Endo MUST M25 gerou maior torque médio (2,04 ± 0,45 N.cm) e maior pico de torque máximo (3,43 ± 0,74 N.cm) do que o Reciproc Blue R25 (1,81 ± 0,47 N.cm e 3,04 ± 0,77 N.cm, respectivamente) e o WaveOne Gold Primary (1,70 ± 0,29 N.cm e 2,70 ± 0,42 N.cm, respectivamente) ($p < 0,05$).

3.2 Resistência torcional estática até a fratura

Nos ensaios de torção estática normatizados conforme a ISO 3630-1 (com trava a 3 mm apicais e rotação a 2 rpm), Caviedes-Bucheli et al. (2025) observaram a 37 °C que os instrumentos Reciproc Blue R25 (1,72 ± 0,15 N.cm) e Plex RC-One 25 (1,32 ± 0,19 N.cm) apresentaram torque máximo de fratura significativamente superior ao WaveOne Gold 25 (1,16 ± 0,05 N.cm) e One Reci 25 (0,44 ± 0,09 N.cm) ($p < 0,0001$). Tahun et al. (2026) verificaram a 37 °C que a preparação prévia de 2 canais humanos aumentou o torque limite de fratura das limas Reciproc Blue R25 e VDW.Rotate #25/.06, enquanto a preparação de 4 canais provocou redução significativa na resistência torcional de ambas ($p < 0,05$), mantendo a lima reciprocante valores superiores.

A 20 °C, Campos et al. (2026) constataram que os sistemas Reciproc Blue (1,57 ± 0,06 N.cm) e V File (1,57 ± 0,17 N.cm) obtiveram torque limite de fratura estatisticamente superior a Univy One (1,35 ± 0,23 N.cm), V+ File (1,00 ± 0,11 N.cm) e ProDesign R (0,89 ± 0,14 N.cm) ($p < 0,05$). Vieira et al. (2025) demonstraram que a versão eletropolida da lima única reciprocante One RECI apresentou torque máximo na fratura significativamente menor (1,13 ± 0,13 N.cm) do que a versão não-eletropolida (1,61 ± 0,15 N.cm) ($p = 0,001$), enquanto na lima rotatória One Curve mini o efeito do eletropolimento não foi estatisticamente significativo (1,29 N.cm vs. 1,30 N.cm; $p = 0,812$).

Neto et al. (2026) observaram que os instrumentos Reciproc R25 (1,70 N.cm), Reciproc Minima M25 (1,60 N.cm) e Reciproc Blue R25 (1,60 N.cm) apresentaram os maiores valores de torque estático de fratura entre os sistemas reciprocantes testados, sem diferença significativa entre si ($p > 0,05$), e superiores ao WaveOne Gold Primary (1,20 N.cm), Excalibur (1,10 N.cm), Flash (1,10 N.cm) e One RECI N25 (0,60 N.cm) ($p < 0,05$). De forma semelhante, Silva et al. (2026) verificaram que os sistemas Reciproc Minima M25 (1,6 N.cm) e Reciproc Blue R25 (1,6 N.cm) apresentaram torque estático limite idêntico e significativamente superior ao Reciproc Minima M20 (1,2 N.cm) ($p < 0,0001$).

Basturk et al. (2022) relataram que o instrumento de NiTi superelástico convencional RaCe obteve torque máximo de fratura (1,89 N.cm) significativamente superior aos instrumentos tratados termicamente R-Motion (1,27 N.cm) e RACE EVO (1,26 N.cm) ($p < 0,05$). Em ensaio estático adaptado com rotação mantida a 500 rpm e trava a 5 mm apicais, Thu et al. (2023) constataram que o torque estático limite de fratura da lima JIZAI #25/.04 não apresentou diferença estatisticamente significativa entre as cinemáticas de Rotação Contínua (11,11 ± 1,89 N.mm), OTR (11,95 ± 1,80 N.mm) e Reciprocidade (11,70 ± 1,77 N.mm) ($p > 0,05$).

3.3 Fadiga torcional por cargas repetidas

No estudo de suporte complementar conduzido por Ohri et al. (2026) sob controle de tensão (*stress-controlled torsional fatigue* - TFR) a 90% do torque limite de fratura (UTS), o instrumento ProTaper Ultimate F2 alcançou o maior número de ciclos de fadiga torcional a 37 °C, seguido pelo ProTaper Next X2 e TruNatomy Prime ($p < 0,05$). Além disso, a elevação da temperatura de 22 °C para 37 °C reduziu o UTS e os ciclos de TFR do TruNatomy Prime de forma estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

No ensaio de travamento estático a 500 rpm executado por Thu et al. (2023), a cinemática reciprocante (REC) proporcionou um tempo até a fratura (Tf = 1,90 s [1,77–1,93]) significativamente maior do que o OTR (0,77 s [0,47–0,79]) e a Rotação Contínua (0,36 s [0,33–0,67]) ($p < 0,05$).

3.4 Deformação angular e padrão de fratura torcional

Nos ensaios de torção estática ISO, Caviedes-Bucheli et al. (2025) observaram que a lima Plex RC-One obteve deflexão angular máxima de 414,30° ± 65,65°, seguida pelo Reciproc Blue (399,54° ± 39,25°), One Reci (390,69° ± 91,42°) e WaveOne Gold (290,38° ± 16,80°) ($p = 0,0399$).

Campos et al. (2026) relataram que o instrumento Univy One apresentou o maior ângulo de rotação até a fratura (495,0° ± 85,28°), superando o Reciproc Blue (392,0° ± 19,08°), ProDesign R (282,0° ± 38,87°), V File (262,6° ± 27,56°) e V+ File (204,4° ± 17,45°) ($p < 0,05$). Vieira et al. (2025) verificaram que a One RECI não-eletropolida apresentou ângulo de rotação de 392,3° ± 78,7°, significativamente superior à versão eletropolida (351,0° [345,3°–358,8°]) ($p = 0,003$).

Neto et al. (2026) constataram que a lima de conicidade reduzida Reciproc Minima M25 obteve o maior ângulo de rotação máximo antes do rompimento (574,0°), superando os sistemas Reciproc Blue R25 (520,0°), One RECI (485,0°), WaveOne Gold (430,0°), Excalibur (415,0°), Flash (380,0°) e Reciproc R25 (371,5°) ($p < 0,05$). Silva et al. (2026) confirmaram que o sistema Reciproc Minima M25 alcançou rotação angular de 577° [561°–589°], sendo significativamente superior ao Reciproc Minima M20 (496° [478°–510°]) e ao Reciproc Blue R25 (443° [427°–452°]) ($p < 0,0001$). Basturk et al. (2022) registraram que as limas tratadas termicamente RACE EVO (670,56°) e R-Motion (642,23°) exibiram ângulos de rotação pré-fratura significativamente superiores à lima convencional RaCe (552,31°) ($p < 0,05$).

As análises de superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) realizadas nos estudos de Caviedes-Bucheli et al. (2025), Tahun et al. (2026), Campos et al. (2026), Silva et al. (2026) e Basturk et al. (2022) revelaram, em todos os espécimes fraturados por torção, a presença de estrias e marcas de deformação plástica abrasiva dispostas de forma circular ao redor do centro de rotação, acompanhadas por mossa central e microporos de ruptura dúctil, sem evidência de marcas de propagação de fadiga flexural.

3.5 Demais desfechos diretamente relacionados

Em ensaio operatório com controle de carga em dentes humanos, Yamamoto et al. (2026) constataram que a instrumentação sob OTR com carga de 1 N exigiu maior tempo de preparo (2,96 min) do que com rotação contínua a 1 N ($p < 0,05$), mas o OTR com cargas de 2 N e 3 N atingiu eficiência de tempo equivalente à rotação contínua ($p > 0,05$).

Na simulação computacional por Elementos Finitos (FEA), Neto et al. (2026) observaram que o preparo com a lima de conicidade reduzida Reciproc Minima M25 promoveu menor concentração de tensão principal máxima na dentina radicular durante a modelagem em comparação a instrumentos de conicidade convencional maior (.07v e .08v). Na simulação por Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), Silva et al. (2026) demonstraram que o preparo de maior conicidade do Reciproc Blue R25 permitiu maior penetração apical do fluxo de irrigante

do que os perfis de conicidade reduzida do Reciproc Minima (M20 e M25), embora estes últimos tenham gerado maior tensão de cisalhamento parietal.

4 DISCUSSÃO

A presente revisão integrativa teve como objetivo analisar o impacto da cinemática reciprocante na geração de torque dinâmico, na tensão torcional e na resistência à fratura por torção em instrumentos endodônticos de níquel-titânio (NiTi) empregados em sistemas de lima única (*single-file*). Os achados sintetizados sugerem que a cinemática reciprocante pode contribuir para a redução do torque operatório dinâmico e para o alívio temporário da tensão torcional acumulada durante a instrumentação de canais curvos (ASLANTAŞ et al., 2022; OMORI et al., 2022; THU et al., 2023). Contudo, os resultados indicam que a alteração da cinemática isoladamente não altera a resistência torcional estática limite (o torque máximo suportado pelo instrumento antes da ruptura sob norma ISO), a qual é determinada predominantemente por características físico-químicas, como a massa do núcleo metálico na região apical (D3), a seção transversal e o tratamento térmico da liga (THU et al., 2023; NETO et al., 2026; SILVA et al., 2026).

Uma distinção fundamental evidenciada pela análise metodológica consiste na diferenciação entre o torque operatório dinâmico gerado durante o corte dentinário e a resistência torcional estática até a fratura obtida em ensaios normatizados (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025; DURSUN; OCAK, 2026). O torque operatório reflete o atrito dinâmico e a força de reação instantânea exercida pelas paredes do canal sobre as lâminas cortantes enquanto o motor se encontra em movimento (DURSUN; OCAK, 2026). Em contrapartida, a resistência torcional estática, mensurada segundo a norma ISO 3630-1 com trava rígida a 3 mm apicais e rotação a 2 rpm até o colapso, avalia a capacidade limite de suporte de carga do metal antes da deformação plástica e ruptura (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025; CAMPOS et al., 2026). Nesse contexto, os dados analisados demonstram que, embora a reciprocidade tenda a gerar menores picos de torque operatório durante a conformação de canais simulados ou extraídos (ASLANTAŞ et al., 2022; THU et al., 2023), ela não altera a resistência torcional limite intrínseca de uma mesma lima quando esta é apreendida rigidamente em sua ponta (THU et al., 2023).

O mecanismo pelo qual a reciprocidade minimiza o estresse torcional dinâmico fundamenta-se no desengajamento periódico das lâminas cortantes presas na dentina (OMORI

et al., 2022). Na rotação contínua, o contato ininterrupto em 360° em um único sentido favorece o aprisionamento por cunhamento (*taper lock* ou *tip binding*), o que foi associado ao aumento expressivo do torque operatório e da força de aparafusamento (*screw-in force*) em canais com curvaturas severas (OMORI et al., 2022; THU et al., 2023). Por outro lado, a rotação no sentido oposto ao de corte, característica da cinemática reciprocante, promove uma força de reação no sentido inverso que desfaz o travamento inicial da lâmina, permitindo o alívio do estresse torcional antes que a liga atinja o seu ponto de fratura (OMORI et al., 2022; YAMAMOTO et al., 2026). Esse fenômeno explica por que o movimento reciprocante atinge maior tempo de tolerância sob travamento antes do rompimento mecânico (THU et al., 2023).

A magnitude do alívio da tensão torcional mostrou-se dependente da amplitude do arco rotatório no sentido inverso (desengate) (OMORI et al., 2022). Constatou-se que a utilização de ângulos inversos mais amplos (como o modo R240/120) gerou maior torque de desengate e menor força vertical do que arcos inversos reduzidos (como R150/30) (OMORI et al., 2022). Em relação às cinemáticas adaptativas, como o *Optimum Torque Reverse* (OTR), que operam em rotação contínua e acionam a oscilação reciprocante (180°/90°) apenas quando um limiar de torque predeterminado é atingido, os dados sugerem uma combinação favorável entre a eficiência de corte da rotação e a atenuação de picos de torque mecânico sob resistência (OMORI et al., 2022; THU et al., 2023; YAMAMOTO et al., 2026). Todavia, ressalta-se que o desempenho dessas modalidades adaptativas varia conforme a calibração do limite de torque do motor, não permitindo afirmar uma superioridade universal sobre a reciprocidade convencional de ângulos fixos em todas as anatomias (THU et al., 2023; YAMAMOTO et al., 2026).

A dinâmica de avanço axial do instrumento também influenciou a resposta torcional nas condições experimentais avaliadas (YAMAMOTO et al., 2026). A aplicação do movimento de picada intermitente (*pecking motion*) em conjunto com cargas descendentes controladas (2 N a 3 N) foi associada à manutenção de níveis seguros de torque operatório e à redução significativa da tendência de aparafusamento apical sob cinemática adaptativa (YAMAMOTO et al., 2026). Esse achado reforça que a cinemática atua em sinergia com a técnica de inserção axial, indicando que avanços manuais forçados ou contínuos podem comprometer os benefícios de alívio de tensão proporcionados pela oscilação rotatória.

Além dos aspectos cinemáticos, os fatores metalúrgicos exerceram papel determinante no comportamento mecânico dos sistemas de lima única (BASTURK et al., 2022; CAMPOS et al., 2026). A introdução de tratamentos térmicos pós-usinagem (como Blue Wire, Gold Wire,

C.Wire e Silver) estabiliza a fase martensítica ou a Fase R à temperatura de uso, conferindo menor rigidez torcional inicial e maior capacidade de deformação angular plástica pré-fratura em comparação com ligas superelásticas austeníticas não-tratadas (BASTURK et al., 2022; CAMPOS et al., 2026). Essa maior ductilidade angular permite que a lima sofra maior torção elástica/plástica com sinalização visual de deformação antes da ruptura catastrófica (CAMPOS et al., 2026; NETO et al., 2026). Adicionalmente, a padronização da temperatura de ensaio a 37 °C (temperatura corporal) mostrou-se relevante, visto que a elevação térmica pode induzir a transformação de fase para a austenita mais rígida em determinadas ligas, alterando a resposta ao estresse torcional sob condições clínicas (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025; OHRI et al., 2026).

No âmbito da geometria do instrumento, a massa do núcleo metálico na região apical de apreensão a 3 mm da ponta (D3) destacou-se como o principal determinante da resistência ao torque estático limite (CAMPOS et al., 2026; NETO et al., 2026). Instrumentos apresentando seção transversal em forma de S ou triangular modificada com maior raio de núcleo a D3 exibiram maior torque limite de fratura em comparação a seções com menor volume metálico apical (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025; CAMPOS et al., 2026; NETO et al., 2026). Ademais, a utilização de instrumentos de conicidade reduzida ou regressiva no corpo da lima (como a conicidade .03v em comparação a .08v) demonstrou reduzir o atrito lateral e a força de flexão no terço cervical/médio sem comprometer a resistência torcional estática na ponta, desde que o diâmetro do núcleo em D0–D3 seja preservado (NETO et al., 2026; SILVA et al., 2026).

É igualmente imperativo diferenciar a falha por sobrecarga torcional da fratura por fadiga cíclica flexural (BASTURK et al., 2022; CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025). Enquanto a fadiga flexural deriva do acúmulo de ciclos de tração e compressão alternados durante a rotação em canal curvo sem travamento, a falha torcional resulta de estresse estático ou dinâmico por retenção mecânica da lâmina (BASTURK et al., 2022; OHRI et al., 2026). Dessa forma, a constatação de elevada resistência à fadiga flexural não permite inferir que um instrumento gerará menor torque durante o preparo dentinário. No tocante ao reuso, os dados de fadiga torcional por cargas repetidas sob controle de tensão (*stress-controlled*) indicam que a preparação prévia de múltiplos canais promove acúmulo progressivo de microtrincas na rede cristalina, reduzindo a tenacidade torcional residual e aumentando o risco de fratura tardia (OHRI et al., 2026; TAHUN et al., 2026).

As convergências e divergências observadas entre os estudos incluídos podem ser justificadas por variações nos delineamentos experimentais. Houve forte concordância quanto ao fato de a reciprocidade reduzir o torque operatório dinâmico em canais curvos (ASLANTAŞ et al., 2022; OMORI et al., 2022; THU et al., 2023) e quanto à equivalência do torque estático limite de uma mesma lima sob diferentes cinemáticas (THU et al., 2023). Por outro lado, discrepâncias isoladas, a exemplo dos achados sobre força de aparafusamento em canais retos (THU et al., 2023) versus canais curvos (OMORI et al., 2022), decorrem das diferenças na anatomia do substrato e na geometria helicoidal do instrumento. Da mesma forma, as diferenças de torque operatório entre sistemas de lima única sob reciprocidade foram atribuídas mais à massa metálica e ao perfil da seção transversal do que ao tipo de solução irrigante empregada (ASLANTAŞ et al., 2022; DURSUN; OCAK, 2026).

A extrapolação clínica dos achados deve ser realizada com cautela. A maioria dos experimentos torcionais padronizados utiliza ensaios estáticos sob norma ISO 3630-1 com rotação contínua de 2 rpm e trava mantida, condição que não reproduz fielmente a dinâmica operatória intermitente, o corte dentinário e o fluxo de irrigante *in vivo* (CAVIEDES-BUCHELI et al., 2025; NETO et al., 2026). Além disso, o uso de blocos de resina acrílica em parte dos estudos representa uma limitação por apresentar dureza e comportamento térmico distintos da dentina humana (ASLANTAŞ et al., 2022; OMORI et al., 2022). Como limitações desta revisão integrativa, apontam-se a busca restrita à base PubMed, a inclusão de artigos nos últimos cinco anos em idioma inglês e a impossibilidade de realização de metanálise em função da elevada heterogeneidade metodológica entre os modelos experimentais.

Diante das lacunas identificadas, recomenda-se que pesquisas futuras desenvolvam e padronizem protocolos de ensaios torcionais dinâmicos em dentes humanos extraídos mantidos a 37 °C, integrando o monitoramento contínuo de torque em tempo real, a microtomografia computadorizada e a análise por Elementos Finitos (FEA). Sugere-se ainda a investigação aprofundada das modalidades adaptativas e de novos tratamentos térmicos em anatomias ovais e complexas, visando ao aprimoramento das diretrizes de segurança no uso de sistemas de lima única.

5 CONCLUSÃO

A cinemática reciprocante contribui para a redução do torque operatório dinâmico e para o alívio temporário da tensão torcional acumulada durante a instrumentação do sistema de

canais radiculares, atuando por meio do desengajamento periódico das lâminas cortantes presas à dentina. Contudo, a alteração da cinemática isoladamente não aumenta a resistência torcional estática limite do instrumento, a qual é determinada predominantemente por características geométricas, tais como a massa do núcleo metálico no terço apical e o perfil da seção transversal e metalúrgicas, como o tratamento térmico da liga de níquel-titânio.

A menor geração de estresse torcional e a atenuação de picos de aparafusamento resultam do efeito sinérgico entre a oscilação de retorno da cinemática, a adequação do tratamento térmico, a redução da conicidade no corpo do instrumento e a aplicação de uma técnica de inserção axial intermitente sob carga controlada. Diante do claro predomínio de evidências obtidas em ensaios laboratoriais e *ex vivo*, conclui-se que o movimento reciprocante constitui um recurso eficaz na mitigação do risco de sobrecarga torcional em canais curvos e atrésicos, sem que isso represente uma superioridade mecânica universal sobre a rotação contínua em todas as anatomias e cenários clínicos.

REFERÊNCIAS

ASLANTAŞ EE, et al. Effect of Sodium Hypochlorite Irrigation with and Without Surfactant on Maximum Operative Torque and Vertical Force of Nickel-Titanium Endodontic Instruments. *Acta Stomatologica Croatica*, 2022; 56(1): 33-41.

BASTURK FB, et al. Mechanical Properties of the New Generation RACE EVO and R-Motion Nickel–Titanium Instruments. *Materials*, 2022; 15(9): 3330.

CAMPOS GO, et al. Design, Metallurgical Features, and Mechanical Behavior of Five Reciprocating NiTi Endodontic Systems: A Multimethod Analysis. *Iranian Endodontic Journal*, 2026; 21(1): e20.

CAVIEDES-BUCHELI J, et al. Cyclic Fatigue, Torsional Strength and Angular Deflection of Different Reciprocating Instruments: A Critical Analysis of Its Clinical Relevance. *European Endodontic Journal*, 2025; 10(2): 159-172.

DURSUN U, OCAK MS. Real-time torque behavior of reciprocating nickel–titanium instruments using different irrigating solutions. *PLOS ONE*, 2026; 21(4): e0347424.

NETO F, et al. Mechanical Performance and Biomechanical Implications of a Reduced-Taper Reciprocating Instrument Compared With 6 Reciprocating Systems. *International Endodontic Journal*, 2026; 59: 2238.

OHRI K, et al. Torsional fatigue and ultimate torsional strength of rotary endodontic files under different temperature conditions. *Clinical Oral Investigations*, 2026; 30(2): 124.

OMORI S, et al. Effect of Rotational Modes on Torque/Force Generation and Canal Centering Ability during Rotary Root Canal Instrumentation with Differently Heat-Treated Nickel–Titanium Instruments. *Materials*, 2022; 15(19): 6850.

SILVA EJNL, et al. Multimethod Evaluation of the Novel Reciproc Minima System: Geometric Design, Mechanical Performance, and Irrigation Dynamics. *Dentistry Journal*, 2026; 14(8): 471.

SINGH A, et al. Revolutionizing Pediatric Endodontics: A Two-Decade Narrative on the Evolution, Efficiency, and Future of Pediatric Rotary Systems. *Cureus*, 2025; 17(11): e97892.

TAHUN IHA, et al. Hidden Effect of Repetitive Use on the Fracture Resistance of Rotary and Reciprocating Nickel-Titanium Files. *European Endodontic Journal*, 2026; 11(6): 257-262.

THU M, et al. Influence of different kinematics on stationary and dynamic torsional behavior of JIZAI nickel-titanium rotary instruments: An in vitro study. *Journal of Dental Sciences*, 2023; 18(3): 1170-1176.

VALENTE P, et al. Nickel-Titanium Alloys in Endodontics: A Narrative Review. *Cureus*, 2026; 18(3): e105033.

VIEIRA VTL, et al. Mechanical and Metallurgical In Vitro Evaluation of Electropolished Versus Non-Electropolished Rotary and Reciprocating Instruments. *International Endodontic Journal*, 2025; 58(11): 1774-1785.

YAMAMOTO R, et al. Impact of Downward Load and Rotational Kinematics on Root Canal Instrumentation with a Heat-Treated Nickel–Titanium Rotary Instrument. *Materials*, 2026; 19(1): 108.