

# AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E SUPERFICIAL DOS FIOS DE NIQUEL-TITÂNIO NA MECÂNICA ORTODÔNTICA: REVISÃO DE LITERATURA

PERFORMANCE EVALUATION AND MECHANICAL SURFACE OF WIRE NICKEL-TITANIUM IN ORTHODONTIC MECHANICS: LITERATURE REVIEW

DANIEL RICARDO SARTORI **SOUZA**<sup>1</sup>, RENATA CRISTINA GOBBI **OLIVEIRA**<sup>2\*</sup>, DIOGO MARQUES **SAPATA**<sup>3</sup>

1. Acadêmico do curso de graduação em Odontologia do Centro Universitario INGÁ – Maringá-PR; 2. Doutora em Ortodontia pela Faculdade de Odontologia de Bauru (FOB) – USP / Docente da disciplina de Ortodontia e Imaginologia do Centro Universitário INGÁ – Maringá – PR; 3. Especialista em Ortodontia pelo Centro Universitário INGÁ / Mestre em odontologia integrada pela Universidade estadual de Maringá (UEM)

\* Uningá, Rodovia PR-317, 6114, Parque Industrial, Maringá, Paraná, Brasil. CEP: 87065-005 [recgo@hotmail.com](mailto:recgo@hotmail.com)

Recebido em 27/09/2016. Aceito para publicação em 16/01/2017

## RESUMO

**Objetivo:** Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática de literatura, quanto as propriedades mecânicas e superficiais dos fios de Níquel-Titânio (NiTi). **Metodologia:** Foi realizado uma estratégia de busca em três fases, na qual, se tratava de uma busca inicial, avaliando a qualidade dos trabalhos, depois foi realizado uma busca sistemática, na base de dado PubMed no período compreendido de 1986 a 2015, com os seguintes descritores "Orthodontic Wires", "Tensile Strength", "Friction", "Surface Properties", e por fim foi efetuado uma busca manual, que compreendia a retirada de trabalhos que não satisfiziam os critérios sugeridos para aceitação nessa revisão. **Resultados:** Foi encontrado um total de 894 artigos, após aplicação do método de busca, e após leitura e compreensão dos textos apenas 29 trabalhos foram utilizados e 865 foram excluídos. **Conclusão:** A rugosidade de superfície é capaz de interferir no atrito. Já a deflexão ocasionada durante a mecânica ortodôntica pode ser capaz de facilitar a degradação do arco ortodôntico e promover aumento da rugosidade de superfície e conseqüentemente do atrito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arcos ortodônticos, Propriedades de Superfície, arcos de NiTi, Superelasticidade.

## ABSTRACT

**Objective:** This study aims to perform a systematic review of literature as the mechanical and surface properties of Nickel-Titanium wires (NiTi). **Methods:** We conducted a search strategy in three phases, in which, it was an initial search, assessing the quality of work, then performed a systematic search at PubMed data base in the period between 1986 to 2015, with following descriptors "Orthodontic Wires", "Tensile Strength",

"Friction," "Surface Properties", and finally was made a manual search, which was excluded papers that did not meet the suggested criteria for acceptance in this review. Results: It was found a total of 894 items, after application of the search method, and further reading and understanding the papers only 29 studies were used and 865 were excluded. Conclusion: The surface roughness can interfere with the friction. Then the deflection caused during the orthodontic mechanical might be able to facilitate degradation of the orthodontic arch and promote increased surface roughness and thus friction.

**KEYWORDS:** Orthodontic wire, Surface Property, NiTi Wires, Superelasticity.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos são os fatores mecânicos e superficiais presentes no contato do fio com o braquete, que por sua vez podem interferir na força de atrito presente no tratamento ortodôntico. Recentemente o fio ortodôntico de NiTi tem sido mais comumente utilizado durante o alinhamento e nivelamento do tratamento<sup>1</sup>. Os arcos de NiTi têm grande aceitação na ortodontia por causa de sua baixa relação carga-deflexão e melhor controle da força de magnitude<sup>2</sup>. No entanto, esta liga metálica têm formabilidade limitada, produzem forças friccionais altas e não podem ser soldadas de maneira eficiente<sup>3,4</sup>.

Existem muitos autores que exploraram as propriedades mecânicas e superficiais dos fios de NiTi através de variadas metodologias, seja in vivo ou in vitro, com exposição em meio bucal ou não<sup>5-13,15-34</sup>. Estes autores conseguiram diversos resultados e conclusões sobre os fios de NiTi, ou até mesmo em relação a diversas ligas metálicas. No entanto, há poucas revisões sistemáticas abordando e resumindo os principais

achados quanto as propriedades mecânicas e superficiais dos fios ortodônticos de NiTi.

O atrito presente na mecânica ortodôntica de deslizamento consiste em uma dificuldade clínica diária para o ortodontista, uma vez que altos níveis de atrito diminuem a da mecânica, reduzindo a velocidade de movimentação dentária e dificultando o controle da ancoragem<sup>5</sup>. Alfonso e colaboradores estudaram diversas ligas metálicas de arcos ortodônticos como, a liga de NiTi e a de aço inoxidável (AI), e eles observaram que a liga de AI demonstrou maior dureza e menor coeficiente de atrito dinâmico, ao passo que o arco de NiTi apresentou menor dureza e o maior coeficiente de atrito dinâmico<sup>6</sup>.

Quanto a deflexão dos fios de NiTi, o estresse constante presente no tratamento ortodôntico permite forças contínuas e biomecânicas que são comunicadas através dos braquetes para os dentes favorecendo a fase de alinhamento e nivelamento<sup>7</sup>.

A rugosidade de superfície desempenha um papel importante na mecânica ortodôntica. Estudos demonstraram que as características da superfície influenciam o desempenho e a biocompatibilidade dos arcos ortodônticos.<sup>8</sup> Além disso, a topografia da superfície pode modificar a estética, corrosão e eficiência de componentes ortodônticos<sup>9</sup>.

O objetivo do presente estudo é realizar uma revisão sistemática sobre as propriedades mecânicas e superficiais dos fios de NiTi. Sendo assim, um método oportuno de entender tais propriedades dos fios de NiTi e o quanto elas interagem com a mecânica ortodôntica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Estratégia de busca

A revisão sistemática foi dividida em três fases:

Fase 1: Busca inicial. Foi realizada com o objetivo de estimar a quantidade de informações publicadas sobre o tema em estudo, bem como a qualidade (revisões sistemáticas, testes clínicos aleatórios, etc.). Outro objetivo foi identificar as bases de dados mais adequadas e os termos a serem utilizados na pesquisa.

Fase 2: Busca sistemática. Quanto as bases de dados. Foi realizado uma busca computadorizada nas bases de dados PubMed no período compreendido de 1986 a 2014. Os descritores da pesquisa foram "Orthodontic Wires", "Tensile Strength", "Friction", "Surface Properties", os quais foram cruzados nos mecanismos de busca. A lista inicial de artigos, que foram avaliados por seu título e resumo, foi submetida aos critérios de inclusão para determinar a amostra final de artigos.

Os critérios de inclusão para a seleção dos artigos, sendo, relato de casos, revisões sistemáticas,

metanálises, coorte, caso-controle, estudos randomizados, deveriam compreender:

-Estudos que relatavam as propriedades mecânicas e superficiais dos fios de NiTi, e a que ponto essas propriedades interferem no tratamento ortodôntico  
-Artigos publicados de 1986 a 2014.

-Artigos redigidos em língua inglesa e portuguesa.

Fase 3: Busca Manual. As referências foram retiradas dos artigos selecionados na fase 2 que não cumpriram com os requisitos da estratégia de busca.

## 3. DESENVOLVIMENTO

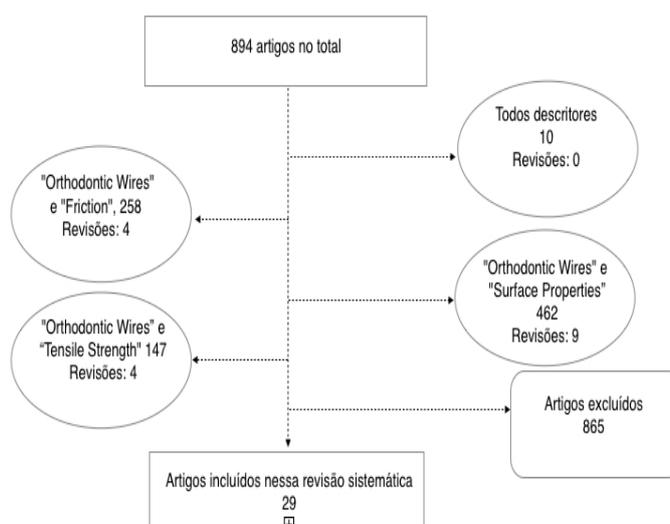
### Resultados de busca

Conforme a estratégia de busca mencionada na metodologia, foi encontrado um total de 894 artigos, sem exclusão de qualquer artigo.

Em detalhes, conforme as buscas pelos descritores, foram encontrados 10 artigos quando informado todos os descritores; já quando mencionado "Orthodontic Wires" e "Tensile Strength" 147 artigos foram encontrados; em seguida, foi pesquisado "Orthodontic Wires" e "Friction", 258 trabalhos foram achados; ainda foi utilizado "Orthodontic Wires" e "Surface Properties" e então foi obtido 462 estudos. A mesma sequência de descritores foi realizada para encontrar revisões de literatura e o resultado total foi de 17 revisões, contudo, quando informado todos os descritores não foi encontrado nenhuma revisão.

Após aplicação do método de busca, e após leitura e compreensão dos textos apenas 29 trabalhos foram utilizados e 865 artigos foram excluídos da revisão sistemática.

### Organograma



Total de artigos encontrados / artigos excluídos / artigos acrescentados.

#### 4. DISCUSSÃO

Muitos foram os trabalhos que buscaram compreender o atrito gerado pelo fio de NiTi durante a mecânica ortodôntica, sendo considerado as variáveis, saliva, biofilme, tipo de braquete, ligaduras elástica ou metálicas. Os fios utilizados nesses trabalhos eram por maioria de NiTi, mas haviam comparações com fios de Titânio-molibdênio ou de aço inoxidável. Sabe-se que quando o fio ortodôntico é exposto em meio bucal há um aumento na promoção de acúmulo de biofilme, degradação da superfície com aumento da rugosidade de superfície e conseqüentemente na força de fricção, logo, os autores buscaram estudar a interação do fio quando em contato com o braquete e assim compreender suas propriedades mecânicas.<sup>5,6,10-13</sup> Sendo assim, os arcos ortodônticos podem não ter o mesmo desempenho especificado pelo fabricante a partir dos testes *in vitro*, confirmando a significância do presente estudo.

Alguns autores<sup>5,10,11</sup> compararam a força de fricção em braquetes auto-ligados passivos e ativos aos braquetes convencionais e com vários tipos de ligas metálicas, outros apenas com a liga de AI variando a secção transversal de fios ortodôntico, e como resultados os braquetes auto-ligados apresentaram menos força de atrito estático e cinético em relação aos braquetes convencionais; logo, quanto aos fios, a liga de beta-titânio demonstrou maiores valores de força de atrito quanto ao fio de NiTi e ao fio de AI que por sua vez apresentou menores valores.

Da mesma forma, Tecco, *et al* (2005)<sup>12</sup>; estudaram o atrito presente na mecânica ortodôntica, utilizando 10 braquetes, sendo três definições de braquetes, e três diferentes ligas metálicas, AI, Titânio-molibdênio (TMA) e ainda a liga de NiTi, os resultados foram que os fios de TMA produziram significativamente maior força de atrito em relação as ligas de SS e NiTi quando em contato com os tipos de braquetes utilizados na pesquisa. E não foram encontradas diferenças significativas em relação a força de atrito entre as ligas de NiTi e SS junto aos tipos de braquetes.

Estudos foram realizados *in vivo* e Afonso e colaboradores<sup>6</sup> abordaram o coeficiente de atrito entre diferentes ligas metálicas após exposição das amostras em saliva artificial. Os resultados mostraram uma relação linear entre a dureza dos materiais e os coeficientes de atrito, na qual, o material que apresentou menor taxa de desgaste foi o aço inoxidável.

Burrow, por sua vez, realizou uma revisão crítica da literatura, na qual, ele concluiu que o atrito não é o principal componente de resistência ao deslizamento da mecânica ortodôntica, e que o contato do fio com o braquete desde o início do tratamento é muito mais

relevante. No entanto, conforme os dados que ele encontrou, não se pode afirmar que o tempo de tratamento é reduzido, quando considerado a irrelevância do atrito do fio durante a movimentação.<sup>13</sup>

Outros estudos abordaram outra propriedade mecânica, a deflexão, fundamental durante o início do tratamento quando ocorre a etapa de alinhamento. Os autores utilizaram métodos *in vitro*, com a intenção de simular a movimentação ortodôntica, na qual, alguns trabalhos expuseram os fios em saliva<sup>7</sup> e enquanto que outros não houve exposição. Ao expor os fios em saliva, os autores avaliaram a liberação de Níquel, na qual, deve-se levar em consideração, afinal na população em geral o níquel provoca respostas adversas em 10% a 20% dos pacientes<sup>14</sup>. Quanto aos resultados os pesquisadores consideraram que a deflexão do fio de NiTi oferece possibilidades de manipular a carga do fio durante o alinhamento<sup>7,15-25</sup>

Outros autores, Nucera *et al* (2014)<sup>15</sup>, avaliaram o quanto as características das aletas de diferentes braquetes podem afetar a deflexão dos fios de NiTi durante a mecânica ortodôntica. E concluíram que as características dos braquetes, associado ao grau de deflexão empregado no fio de NiTi, afeta significativamente a quantidade de forças liberada. Este fenômeno, por sua vez, oferece aos clínicos a possibilidade de manipular a carga do fio durante a etapa de alinhamento.

Quanto aos fios de NiTi termoativados presentes no mercado, Bartzela *et al* (2007)<sup>16</sup>, investigaram a deflexão de fios de NiTi termoativados comerciais de diversos cortes transversais classificando esses fios qualitativamente em grupos, e logo observaram que alguns fios possuem três graus de classificação, não superelásticos, pouco superelásticos e os que são de fato superelásticos. Alguns dos fios mostraram deformação permanente após o teste de flexão de três pontos. Logo, uma fração significativa dos fios testados mostrou nenhuma ou apenas baixa superelasticidade.

Outros estudos quanto aos fios de NiTi termoativados e sua deflexão exploraram as mudanças de fase dos fios de NiTi. Kawashima, *et al* (1999)<sup>17</sup>, perceberam dois tipos de transformações martensíticas, na qual, uma por aplicação de tensão e outra por aplicação de calor, em ambas aplicações, as mudanças de fase presentes no fio eram reversíveis, mas quando aplicado as duas ao mesmo tempo, essas variações no fio eram irreversíveis.

Por sua vez Garrec, *et al* (2005)<sup>18</sup>, estudaram os fios de NiTi mas com apenas dois cortes transversais. Os resultados foram baseados em investigações microestruturais e mecânicas. A liga de NiTi apresentou uma rigidez de flexão inconstante e a influência do tamanho não foi tão importante como deveria ser. Este resultado pode ser explicado caso o módulo de elasticidade não seja constante durante o processo de

transformação para a fase martensita. Assim, em alguns casos, o tratamento pode começar com arcos de tamanho completo (retangular) para preencher quase completamente a aleta do braquete com uma força de aplicação considerado fisiologicamente desejável para o movimento do dente e compatível com o conforto do paciente.

Enquanto que Lombardo e colaboradores (2013)<sup>19</sup> notaram a liberação de energia durante o platô de deflexão, que em média, o aumento da força de patamar foi de aproximadamente 50% quando o diâmetro foi aumentado por 0,002 polegadas (0,012-0,014 e 0,014-0,016 polegadas) e cerca de 150% quando o diâmetro foi aumentado por 0,004 polegadas (0,012-0,016), com diferenças entre os fios tradicionais e termoativados observadas.

Outros pesquisadores procuraram conhecer o efeito das ligaduras disponíveis ao ortodontista para que esse possa realizar a mecânica ortodôntica aderindo o fio ao braquete; Kasuya *et al*<sup>20</sup>, utilizaram três tipos de ligaduras; metálicas, elásticas e o braquete autoligado. Logo, concluíram que o fio de NiTi exibiu a maior grau de superelasticidade com o braquete autoligado, enquanto que a ligadura elástica pode atuar como um sistema de retenção de sua superelasticidade.

Em contra partida Wilkinson *et al* (2002)<sup>21</sup>, exploraram o teste de três pontos sobre os fios de NiTi e como conclusão, foi abordado o fato de que o teste pode ter aplicabilidade limitada para condições clínicas, confrontando com os resultados de estudos iniciais sobre a deflexão do fio de NiTi<sup>22, 23, 24</sup>.

Tão logo, a deflexão e a degradação do fio de NiTi foi abordada por Liu e colaboradores (2011)<sup>7</sup> que investigaram a influência da deflexão dos fios de NiTi na liberação de níquel em meio bucal, e os resultados indicaram que os fios de NiTi após sofrerem deflexão demonstrou maior liberação de níquel do que os fios de NiTi que não sofreram.

Por sua vez Liu *et al* (2007)<sup>25</sup>, também abordaram o efeito da deflexão sobre a corrosão de fios de NiTi usando testes potenciodinâmicos e potenciostáticos em saliva artificial. Na qual, puderam concluir que a deflexão pode alterar as propriedades de corrosão e as características de superfície dos fios de NiTi já que os pesquisadores realizaram os testes em um ambiente intra-oral simulado.

A rugosidade de superfície também foi muito explorada pelos pesquisadores, e buscaram entender o quanto ela interfere no atrito e na deflexão desses fios durante o tratamento ortodôntico. Os autores observaram os fios microscopicamente antes e depois da exposição em ambientes que simulem o meio bucal ou em meio bucal, logo, muitos deles promoveram uma intervenção *in vivo* para estimular o acúmulo de biofilme, na qual, este mostrou interferir nas propriedades do arco de NiTi<sup>9, 26-34</sup>.

Segundo, Kusy *et al* (1988)<sup>9</sup>, estudaram a rugosidade de superfície e o coeficiente de atrito de algumas ligas metálicas de fios ortodônticos, sendo uma dessas a liga de NiTi, desse modo, foi realizado uma simulação da mecânica ortodôntica. E como resultado os autores concluíram que ainda necessitavam de mais estudos sobre o tema proposto, mas que rugosidade de superfície pode interferir na eficiência do braquete e do arco ortodôntico.

Quanto a Wichelhaus e colaboradores (2005)<sup>26</sup>, que também investigaram o atrito e a rugosidade de superfície de diferentes fios de NiTi superelástico disponíveis comercialmente, os testes foram conduzidos antes e após a utilização clínica dos fios. Os resultados mostraram que, inicialmente, os fios com superfície tratadas demonstraram significativamente ( $p < 0,01$ ) menos atrito do que os fios não tratados e quanto a rugosidade de superfície nenhuma diferença significativa foi encontrada entre o fio de superfície tratada para o fio de superfície não tratada. Todos os 40 fios, porém, mostraram um aumento significativo do atrito e da rugosidade de superfície durante o uso clínico. Da mesma forma estudos de Elayyan *et al*<sup>27</sup> demonstraram resultados semelhantes quanto ao aumento da rugosidade de superfície dos fios de NiTi revestidos após uso clínico.

Da mesma forma, seguindo a mesma linha de fios revestidos, estéticos ou tratados com íons, D'Antò e colaboradores (2012)<sup>28</sup> utilizaram diversas ligas metálicas de fios ortodônticos e diversas marcas, na qual, os resultados apontaram para uma grande variabilidade na rugosidade de superfície dos fios propostos, o fio de AI demonstrou os menores valores de rugosidade de superfície. Quanto a técnica de implantação de íons, essa se mostrou vantajosa para os fios de beta-Titânio.

Já da Silva *et al* (2013)<sup>29</sup> avaliaram quatro marcas de fios ortodônticos com revestimento estéticos e ainda suas propriedades mecânicas. Os testes foram realizados antes e após 21 dias de exposição oral, logo depois os fios foram comparados com o fio de AI convencional e fio de níquel titânio. Com esse objetivo, os fios com revestimento estético apresentaram menor carga e descarga de forças, menor módulo de elasticidade e resiliência, e ainda menores valores da força máxima de deflexão do que os fios de AI e NiTi.

Um fator adicional que influencia as propriedades dos fios NiTi é o pH<sup>30</sup>, Segundo Lin *et al* (2012)<sup>30</sup>, estudaram a influência de flúor e um ambiente ácido sobre as propriedades mecânicas dos fios ortodônticos de NiTi (NiTiW) em saliva artificial. Com esse objetivo os autores observaram que um pH de 4 possui efeito insignificante sobre o fio de NiTi, mas que um pH inferior parece corroer a camada da superfície, diminui a resistência à flexão e aumentar a dureza; além disso, os resultados indicaram que a dose diária de flúor no creme dental não reduz as propriedades mecânicas dos fios de NiTi, mas há corrosão da camada de superfície caso o fio

permaneça em contato constante com flúor por um longo período de tempo.

Da mesma forma, alguns autores<sup>31-34</sup> estudaram a rugosidade de superfície e a corrosão dos fios de Niti. Logo, o objetivo desses trabalhos foi avaliar mediante exposição em meio bucal ou em saliva artificial a resistência a corrosão dos arcos de NiTi, além de considerar a liberação de níquel em meio bucal e a rugosidade de superfície quanto ao aumento de atrito do fio com o braquete. Os resultados encontrados foram; segundo Rondelli *et al* (1999)<sup>31</sup> após exposição dos fios em saliva artificial, os fios de NiTi possuem resistência suficiente contra a corrosão localizada e que essa resistência não depende da geometria ou forma de sua secção transversal, enquanto que, Petoumeno *et al*<sup>32</sup> demonstraram que os fios ortodônticos de NiTi sofrem degradação e liberação de Níquel na cavidade bucal; da mesma forma Jaber *et al* (2014)<sup>33</sup> também demonstraram essa degradação e ainda um aumento da rugosidade de superfície, no entanto não há aumento do atrito entre fio e braquete auto-ligado passivo. Por sua vez, Huang<sup>34</sup> observaram que a rugosidade da superfície dos fios de NiTi comerciais com estrutura química com superfície semelhante não correspondem com a diferença de resistência à corrosão.

Tendo em vista a presença de vários estudos na literatura sobre os fios e suas diversas ligas metálicas, dando ênfase ao fio de NiTi, na qual, é o foco desse trabalho, observa-se inúmeras metodologias e diferentes resultados que contribuíram com a ortodontia. Mas ainda, inúmeros estudos seja ele *in vitro*, *in vivo*, coorte, randomizado, revisões literárias entre outros estudos sobre os fios ortodônticos, até mesmo a liga de NiTi, ainda devem ser realizados. E então, revisões de literatura de metanálise sejam desenvolvidas para integrar os resultados de vários estudos sobre uma mesma questão de pesquisa e aprimorar ainda mais os conhecimentos sobre os materiais ortodônticos<sup>0</sup>.

## 5. CONCLUSÃO

- Diante A rugosidade de superfície é capaz de influenciar no atrito gerado durante a mecânica ortodôntica.

- Pesquisadores concluíram que a liga de NiTi possui mais atrito que a liga de Al e menos atrito que a liga de TMA, tão logo, a liga de NiTi sofre degradação da superfície que por sua vez favorece o aumento da força de atrito, contudo, o atrito não se mostrou um fator preponderante a ponto de influenciar de forma significativa o desenvolvimento da mecânica ortodôntica.

- Quanto a deflexão, os resultados demonstraram que o ortodontista pode ser capaz de controlar força de deflexão e a liberação de carga do fio de NiTi, dependendo

das características do braquete, do próprio fio de NiTi conforme sua estrutura química ou geométrica e ainda conforme o tipo de ligadura.

- Por fim, os resultados ainda mostraram que o fio sofre degradação e liberação de níquel em meio bucal, na qual, conforme o fio sofre deflexão há uma maior liberação desse metal que por sua vez, não há reações adversas quando em contato com o ambiente oral do paciente.

Portanto a rugosidade de superfície é capaz de interferir no atrito gerado a partir do contato do fio com o braquete. Já a deflexão ocasionada durante a mecânica ortodôntica pode ser capaz de facilitar a degradação do arco ortodôntico e promover aumento da rugosidade de superfície e conseqüentemente do atrito, além de facilitar a liberação de Níquel em meio bucal. Mas não é possível confirmar que ambas as propriedades interferem diretamente no tempo e na eficiência do tratamento. Para tal é necessários maiores estudos quantos as propriedades mecânicas e superficiais dos fios de NiTi.

## REFERÊNCIAS

- [01] Brantley WA, Eliades T. *Orthodontic Materials: Scientific and Clinical Aspects.* Stuttgart, Germany: Thieme; 2001:91-99.
- [02] Sandhu SS., Shethy VS., Mogra S., Varghese J., Sandhu J., Sandhu JS. Efficiency, behavior, and clinical properties of superelastic NiTi versus multistranded stainless steel wires - A prospective clinical trial. *Angle Orthodontist*, 2012; 82(5).
- [03] Gurgel JA, Kerr S, Powers JM, Lecrone V. Force-deflection properties of superelastic nickel-titanium archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001; 120(4):378-82.
- [04] Parvizi F, Rock WP. The load deflection characteristics of thermally activated orthodontic archwires. *European Journal of Orthod.* 2003; 25(4):417-21.
- [05] Choi S, Lee S, Cheong Y, Park K, Park H, Park Y. Ultrastructural Effect of Self-Ligating Bracket Materials on Stainless Steel and Superelastic NiTi Wire Surfaces. *Microscopy Research and Technique*, 2012.
- [06] Alfonso MV, Espinar E, Llamas JM, Rupe Rez E, Manero JM, Barrera JM, Solano E, Gil FJ. Friction coefficients and wear rates of different orthodontic archwires in artificial saliva. *Journal Mater Sci: Mater Med*, 2013.
- [07] Liu J, Lee T, Liu I. Effect of loading force on the dissolution behavior and surface properties of nickel-titanium orthodontic archwires in artificial saliva. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2011.
- [08] Marques I, Araújo A, Gurgel J, Normando D. Debris, Roughness and Friction of Stainless Steel Archwires Following Clinical Use. *Angle Orthodontist*, 2010; 80(3):.
- [09] Kusy RP, Whitley JQ, Mayhew MJ, Buckthal JE. Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. *Angle Orthodontics.* 1988; 58:33-45.
- [10] Krishnan M, Kalathil S, Abraham KM. Comparative evaluation of frictional forces in active and passive

- self-ligating brackets with various archwire alloys. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2009.
- [11] Pacheco MR, Oliveira DD, Smith Neto P, Jansen WC. Avaliação do atrito em braquetes autoligáveis submetidos à mecânica de deslizamento: um estudo *in vitro*. Dental Press Journal Orthodontic, 2011 ; 16(1):107-15.
- [12] Tecco S, Festa F, Caputi S, Traini T, DI Lorio D, D'attilio M. Friction of Conventional and Self Ligating Brackets Using a 10 Bracket Model. Angle Orthodontist. 2005; 75(6).
- [13] Burrow SJ. Friction and resistance to sliding in orthodontics: A critical review. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2009; 135(4).
- [14] Turpin DL. California proposition may help patients in search of better oral health. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001; 120:97.
- [15] Nucera R, Gatto E, Borsellino C, Aceto P, Fabiano F, Matarese G, et al. Influence of bracket-slot design on the forces released by superelastic nickel-titanium alignment wires in different deflection configurations. Angle Orthodontist, 2014; 84(3).
- [16] Bartzela TN, Senn C, Wichelhaus A. Load-Deflection Characteristics of Superelastic Nickel- Titanium Wires. Angle Orthodontist, 2007; 77(6).
- [17] Kawashima I, Ohno H, Sachdeva R. Relationship between  $A_T$  temperature and load changes in Ni-Ti orthodontic wire under different thermomechanical conditions. Dental Materials Journal, 1999; 18(4): 403-412.
- [18] Garrec P, Tavernier B, Jordan L. Evolution of flexural rigidity according to the cross-sectional dimension of a superelastic nickel titanium orthodontic wire. European Journal of Orthodontics, 2005.
- [19] Lombardo L, Toni G, Stefanoni F, *et al.* The effect of temperature on the mechanical behavior fo nickel-titanium orthodontic initial archwires. Angle Orthodontist. , Appleton, 2013; 83(2).
- [20] Kasuya S, Nagasaka S, Hanyuda A, Ishimura S, Hirashita A. The effect of ligation on the load-deflection characteristics of nickel-titanium orthodontic wire. European Journal of Orthodontics, 2007.
- [21] Wilkinson PD, Dysart PS, Hood JAA, Herbison GP. Load-deflection characteristics of superelastic nickel-titanium orthodontic wires. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2002.
- [22] Rucker BK, Kusy RP. Elastic Flexural Properties of Multistranded Stainless Steel Versus Conventional Nickel Titanium Archwires. Angle Orthodontist, 2002; 72(4).
- [23] Miura F, Mogi M, Ohura Y, Hamanaka H. The super-elastic property of the Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics. American Journal of Orthodontics Dentofacial Orthopedics July, 1986.
- [24] Gall K, Tyber F, Brice V, Frick CP, Maier HJ, Morgan N. Tensile deformation of NiTi wires. Wiley Periodicals, 2005.
- [25] Liu IH, Lee TM, Chang CY, Liu CK. Effect of Load Deflection on Corrosion Behavior of NiTi Wire. Journal dental research, 2007.
- [26] Wichelhaus A, Geserick M, Hibst R, Sander FG. The effect of surface treatment and clinical use on friction in NiTi orthodontic wires. Dent Mater. 2005; 21:938-945.
- [27] Elayyan F, Silikas N, Bearn D. *Ex vivo* surface and mechanical properties of coated orthodontic archwires. European Journal of Orthodontics, 2008.
- [28] D'Antò V, Rongo R, Ametrano G, Spagnuolo G, Manzo P, Martina R, et al. Evaluation of surface roughness of orthodontic wires by means of atomic force microscopy. Angle Orthodontist, 2012; 82(5).
- [29] Silva DL, Mattos CT, Sant' Anna EF, Ruellas ACO, Elias CN. Cross-section dimensions and mechanical properties of esthetic orthodontic coated archwires. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2013.
- [30] Lin J, Han S, Zhu J, Wang X, Chen Y, Vollrath O, *et al.* Influence of fluoride-containing acidic artificial saliva on the mechanical properties of Nickel-Titanium orthodontic wires. Indian Journal of Dental Research, 2012.
- [31] Rondelli G, Vicentini B. Localized corrosion behaviour in simulated human body fluids of commercial Ni-Ti orthodontic wires. Biomaterials, 1999.
- [32] Petoumeno E, Kislyuk M, Hoederath H, Keilig L, Bourauel C, Jäger A. Corrosion Susceptibility and Nickel Release of Nickel Titanium Wires during Clinical Application. Journal of Orofacial Orthopedics, 2008.
- [33] Jaber LCL, Rodrigues JA, Amaral FLB, França FMG, Basting RT, Turssi CP. Degradation of orthodontic wires under simulated cariogenic and erosive conditions. Braz Oral Res, 2014; 28(1):1-6.
- [34] Huang HH. Localized corrosion behaviour in simulated human body fluids of commercial Ni-Ti orthodontic wires. Angle Orthodontist, 2005; 75(4).