

## Investigação original

# Fricção estática e dinâmica de brackets cerâmicos autoligáveis e convencionais



Gonçalo Barragán\*, Rui Pereira, Luis Jardim

Curso de pós-graduação em Ortodontia, Faculdade de Medicina Dentária da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

### INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

#### Historial do artigo:

Recebido a 1 de Março de 2017

Aceite a 4 de Novembro de 2017

On-line a 20 de Novembro de 2017

#### Palavras-chave:

Bracket ortodôntico

Cerâmica

Fricção

Ortodontia

### R E S U M O

**Objetivos:** Estudar a influência do tipo de bracket estético sobre a resistência ficcional de arcos de aço inoxidável; determinar o efeito da alteração na angulação de segunda ordem entre bracket e fio ortodôntico sobre a fricção produzida.

**Métodos:** Cinco tipos de brackets distintos, de caninos superiores direitos (Straight-Wire Synthesis™, Damon Clear™, Clarity™ ADVANCED Ceramic Brackets, Empower® Clear Brackets, Sierra™ Brackets) foram utilizados no estudo. O ensaio mecânico foi realizado com recurso a uma máquina de testes universal Instron, com os brackets posicionados com uma angulação de 0°, 2° ou 4° consoante o grupo experimental. Os valores de fricção foram registados sob a forma de fricção estática e dinâmica e analisados com uma análise de variância (ANOVA) com duas dimensões ( $p < 0,05$ )

**Resultados:** Os resultados da ANOVA a duas dimensões demonstram que quer a fricção estática quer a dinâmica foram influenciadas significativamente pela angulação de segunda ordem ( $p < 0,0001$ ) e pelo tipo de bracket ( $p < 0,0001$ ). Os valores mantiveram-se similares entre as angulações de 0° e 2°, verificando-se um aumento quando a angulação testada foi de 4°.

**Conclusões:** A fricção estática e dinâmica são influenciadas pela angulação de segunda ordem e pelo tipo de bracket; um aumento da angulação de segunda ordem conduz a um aumento nos valores de fricção registados em todos os brackets; brackets Damon Clear obtiveram os valores de fricção mais baixos de toda a amostra nas 3 angulações estudadas (0°, 2° e 4°); em angulações superiores (4°) os brackets autoligáveis ativos apresentaram valores de fricção superiores à restante amostra. (Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac. 2017;58(3):161-167)

© 2017 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária.

Publicado por SPEMD. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

\* Autor correspondente.

Correio eletrónico: [gobarragan@hotmail.com](mailto:gobarragan@hotmail.com) (Gonçalo Barragán).

<http://doi.org/10.24873/j.rpemd.2017.11.031>

1646-2890/© 2017 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária. Published by SPEMD.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Static and kinetic friction of self-ligating and conventional ceramic brackets

### A B S T R A C T

#### Keywords:

Orthodontic brackets  
Ceramics  
Friction  
Orthodontics

**Objectives:** To study the influence of the type of aesthetic bracket on the friction between the orthodontic bracket and the orthodontic stainless-steel archwire, and to determine the effect of the second-order angulation between the bracket and the orthodontic archwire on the generated friction.

**Methods:** Five aesthetic orthodontic brackets for the upper right canines (Straight-Wire Synthesis™, Damon Clear™, Clarity™ ADVANCED Ceramic Brackets, Empower® Clear Brackets, Sierra™ Brackets) were studied. Experimental testing was performed with an Instron Universal testing machine. The brackets were tested in 3 second-order angulations: 0°, 2° and 4°, according to the experimental group. Static and dynamic frictional values were recorded and analyzed with a two-way ANOVA ( $p < 0.05$ ).

**Results:** The results from the ANOVA show that the static and kinetic friction values were influenced by the second-order angulation employed ( $p < 0.0001$ ) and by the type of aesthetic bracket ( $p < 0.0001$ ). The friction values remained similar in the lower angulations (0° and 2°) and increased when higher second-order angulations (4°) were tested.

**Conclusions:** Static and kinetic friction were influenced by the second-order angulation and by the type of bracket tested. The increase in second-order angulation led to an increase in the friction values of all the tested brackets. Damon Clear™ brackets scored the lowest friction values of all the tested brackets in all the tested angulations (0°, 2° e 4°). When higher second-order angulations were tested (4°), the active self-ligating brackets showed higher values than the other samples. (Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac. 2017;58(3):161-167)

© 2017 Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária.

Published by SPEMD. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introdução

O encerramento ortodôntico de espaços é frequentemente efetuado através da mecânica de deslizamento do bracket ao longo do fio ortodôntico.<sup>1,2</sup> A técnica de deslizamento apresenta várias vantagens, incluindo menor tempo de tratamento, maior conforto para o paciente e melhor controlo tridimensional da posição do dente.<sup>3</sup> A principal desvantagem é a fricção produzida entre o arco e o bracket.<sup>4,5</sup>

Na mecânica de deslizamento, 12 a 60% da força ortodôntica aplicada dissipa-se sobre a forma de resistência friccional<sup>4,6-8</sup> e o movimento apenas ocorre quando a força aplicada ao dente supera a fricção.<sup>9</sup> A presença de resistência friccional pode diminuir a velocidade de movimento dentário e aumentar os requisitos de ancoragem, podendo conduzir ao aumento do tempo de tratamento.<sup>8,9</sup>

O valor de fricção pode ser influenciado pela forma, dimensão e composição do fio ortodôntico, tipo de bracket, angulação entre o arco e a ranhura do bracket, força aplicada e método de ligação usado.<sup>4,10</sup> Quando se desenvolve resistência ao deslizamento, esta pode originar-se em três momentos: fricção na configuração passiva, *binding* e *notching*.

Na configuração passiva, a resistência ao deslizamento deve-se apenas à fricção produzida entre a superfície do arco e do bracket. Neste tipo de fricção existe espaço livre entre a ranhura do bracket e o fio ortodôntico.<sup>4,11</sup>

Quando o espaço entre o bracket e o arco é eliminado, atingimos o valor de ângulo crítico. A partir desta angulação começam a desencadear-se fenómenos de *binding*. O *binding* resulta da interacção entre as margens do bracket diagonalmente opostas e o arco,<sup>4</sup> resultando numa deformação elástica do arco.<sup>12</sup> O valor de fricção associado ao *binding* resulta da soma do valor constante de fricção clássica com a fricção produzida entre o fio ortodôntico e a ranhura do bracket.<sup>4,11,13-15</sup>

O valor teórico do ângulo crítico para várias combinações bracket/arco já foi estudado anteriormente,<sup>11</sup> demonstrando que o ângulo crítico variava entre 0° e 5° para as combinações estudadas. Mais recentemente, um outro estudo<sup>16</sup> mostrou que o valor de ângulo crítico varia entre 1,5° e 21,4°.

Quando a angulação entre o bracket e o arco atinge valores superiores verificam-se fenómenos de deformação plástica, levando à paragem do movimento dentário pelo aumento exponencial das forças de fricção. Este fenómeno é designado de *notching*.<sup>14,17</sup>

Na mecânica de deslizamento, a fricção estática é o fator limitador do movimento dentário, uma vez que esta é a resistência que o dente tem que vencer para iniciar o movimento.<sup>3,8,18</sup> A fricção dinâmica, por sua vez, é a resistência de um dente ao movimento com velocidade constante.<sup>19-21</sup>

As fricções estática e dinâmica presentes em cada situação dependem assim de vários fatores: calibre, coeficiente de fric-

ção, dureza, rugosidade e modulo de elasticidade do arco,<sup>22</sup> composição e largura do bracket.<sup>6</sup>

A crescente exigência estética dos pacientes durante o tratamento ortodôntico, associada ao aumento do número de adultos a realizar tratamento, tem conduzido à utilização de materiais mais estéticos durante o mesmo.<sup>23-27</sup>

Atualmente existem 3 tipos de brackets cerâmicos estéticos: alumina monocristalina (MCA), alumina policristalina (PCA) e zircônia. Os brackets de cerâmica monocristalina são os que possuem melhores propriedades estéticas.<sup>22,27,28</sup>

Os brackets cerâmicos apresentam, no entanto, algumas desvantagens comparativamente aos metálicos convencionais, nomeadamente aumento da fricção,<sup>23,26,27,29</sup> baixa resistência à fratura<sup>23,27</sup> e elevadas forças de adesão.<sup>22,27,30,31</sup>

O aumento da fricção provocada pelos brackets cerâmicos deve-se à superfície cerâmica ser mais rugosa que a metálica.<sup>27</sup> As cerâmicas policristalinas, por possuírem uma superfície mais porosa, apresentam valores de fricção superiores ao das cerâmicas monocristalinas ou aço.<sup>26,29</sup>

Recentemente, têm sido introduzidos no mercado brackets cerâmicos com revestimento ao nível da ranhura, o que permite reduzir os valores de fricção registados para brackets totalmente cerâmicos.<sup>27</sup> Estes brackets apresentam resultados promissores, mostrando valores de fricção similares aos de brackets convencionais totalmente metálicos.<sup>13,27</sup>

Os brackets autoligáveis têm vindo a ganhar importância em ortodontia. Estes brackets têm como potenciais vantagens a dispensa de utilização de ligaduras elásticas, estética superior, menor tempo de cadeira, melhor higiene oral, menores valores de fricção e o tratamento mais rápido.<sup>32-35</sup>

Este estudo foi desenvolvido com os objetivos de estudar a influência do tipo de bracket estético sobre a resistência friccional de arcos de aço inoxidável e de determinar o efeito da angulação de segunda ordem entre o bracket e o fio ortodôntico sobre a fricção.

## Materiais e Métodos

Neste estudo experimental foram utilizados 5 tipos de brackets de caninos superiores direitos com ranhura 0,022 x 0,028: 1) Straight-Wire Synthesis™ (Ormco), 2) Damon Clear™ (Ormco), 3) Clarity™ ADVANCED Ceramic Brackets (3M-Unitek), 4) Empower® Clear Brackets (AOrthodontics) e 5) Sierra™ Brackets (AOrthodontics).

Os brackets foram colocados de forma padronizada em suportes acrílicos, usando um arco ortodôntico de aço de 0,019x0,025" (Ormco), de modo a eliminar o efeito do torque do bracket.

Os ensaios mecânicos foram realizados numa máquina de testes universal Instron. Os brackets foram posicionados com uma angulação pré-determinada (0°, 2° ou 4°), de acordo com o grupo experimental (Figura 1). Nos grupos 1, 3 e 5 foi colocada uma ligadura elástica cinzenta (Ormco) para unir o bracket ao fio ortodôntico. Nos grupos 2 e 4 a ranhura do bracket foi encerrada com uma pinça Weingart (3M-Unitek). Os ensaios realizaram-se aplicando uma força axial na extremidade livre do segmento de arco com calibre 0,019x0,025" (Ormco), deslizando o arco sobre o bracket a uma velocidade de 5 mm/min por uma distância de 5,2 mm.

As forças aplicadas pelo Instron foram registadas num sistema de coordenadas xy em que o eixo xx registou o movimento do fio em mm e o eixo yy registou a fricção entre o bracket e o arco.

O registo dos valores de fricção foi realizado de duas formas: como fricção estática – o pico de fricção que ocorre no início do ensaio, e fricção dinâmica – a média de 5 pontos equidistantes no plateau, após o pico de fricção inicial.

Cada combinação bracket/fio ortodôntico foi testada apenas uma vez para evitar o desgaste dos componentes.

Os resultados foram analisados recorrendo a uma análise de variância (ANOVA) com duas dimensões, com o tipo de

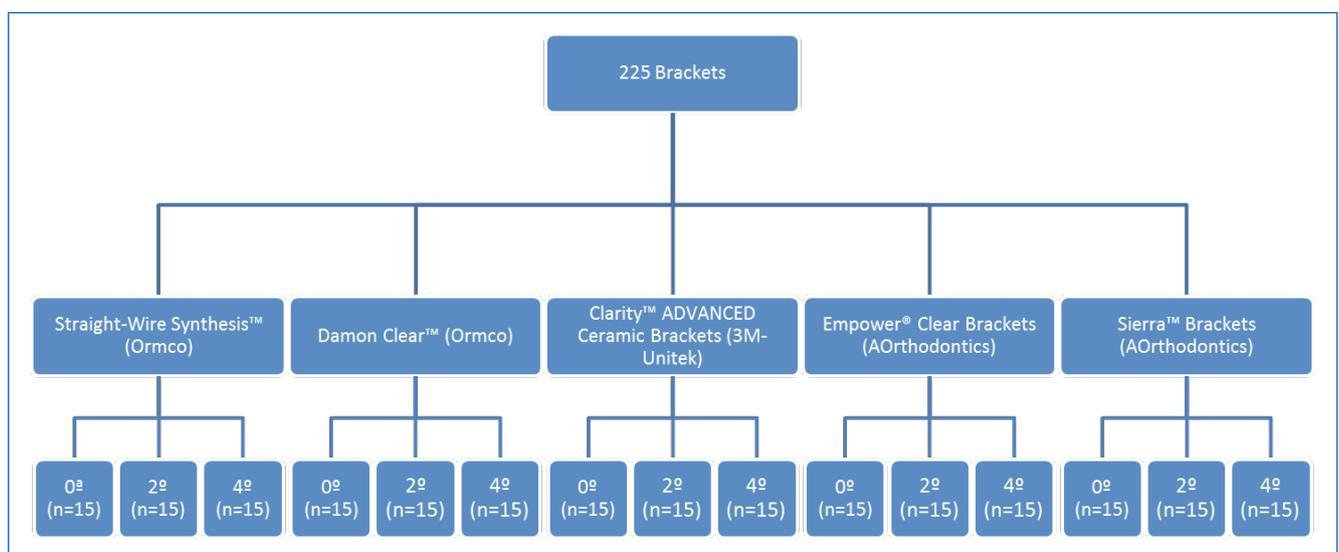


Figura 1. Distribuição dos 225 espécimes bracket/fio metálico pelos 15 grupos experimentais (n=15)

bracket e a angulação de segunda ordem como variáveis independentes. Sempre que verificada uma interação significativa entre os dois fatores principais, foram efetuadas análises de variância com uma dimensão avaliando o efeito do tipo de bracket sobre a fricção, para cada uma das angulações testadas. Em seguida foram realizados testes *post-hoc* de Student-Newman-Keuls para proceder a comparações múltiplas entre os diferentes tipos de brackets. O nível de significância estatística foi fixado em 5% (erro tipo 1 <0,05).

## Resultados

Os resultados da análise de variância demonstraram que as fricções estática e dinâmica foram influenciadas significativamente pela angulação de segunda ordem ( $p < 0,0001$ ) e pelo tipo de bracket ( $p < 0,0001$ ). Os resultados da *two-way* ANOVA para a fricção dinâmica e estática encontram-se nas

tabelas 1 e 2. Verificando-se uma interação estatisticamente significativa entre a angulação e o tipo de bracket ( $p < 0,0001$ ), os valores de fricção produzidos pelos diferentes tipos de bracket foram comparados separadamente para cada uma das angulações.

Nas tabelas 3 e 4 apresentam-se os valores referentes à estatística descritiva da fricção estática e dinâmica, respectivamente, assim como a comparação entre os vários grupos experimentais.

Em geral, os valores mantiveram-se similares entre as angulações de 0° e 2°, verificando-se um aumento quando a angulação testada foi de 4°. As figuras 2 e 3 mostram a alteração nos valores de fricção decorrente da alteração da angulação.

Os valores de fricção estática para a angulação 0° variaram entre 32,3 e 197,2 gf, sendo significativamente inferiores no grupo Damon Clear comparativamente aos restantes grupos ( $p < 0,05$ ). Os grupos EmPower Clear e o Sierra obtiveram valores superiores ao grupo Damon Clear mas estatisticamente infe-

Tabela 1. ANOVA Two-way. Fricção dinâmica

	Df	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
Bracket	4	1759959,756	439989,939	71,687	0,0001
Angulação	2	4037301,871	2018650,936	329	0,0001
Interação (Bracket x Angulação)	8	2399840,726	299980,091	48,876	0,0001
Residual	210	1288903,153	6137,634		

Tabela 2. ANOVA Two-way. Fricção Estática

	Df	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P
Bracket	4	2025696,633	506424,158	65,32	0,0001
Angulação	2	4723289,086	2361643,543	305	0,0001
Interação (Bracket x Angulação)	8	2624444,241	328055,530	42,313	0,0001
Residual	210	1628127,438	7752,988		

Tabela 3. Estatística Descritiva Fricção Estática

Tipo de Bracket	0°		2°		4°	
	Média (gf)*	DP (gf)	Média (gf)*	DP (gf)	Média (gf)*	DP (gf)
Straight-Wire Synthesis™	197,1 <sup>d</sup>	39,6	212,1 <sup>c</sup>	24,1	470,4 <sup>b</sup>	89,9
Damon Clear™	32,3 <sup>a</sup>	15,4	38,9 <sup>a</sup>	6,4	216,2 <sup>a</sup>	120,5
Clarity™ ADVANCED Ceramic Brackets	197,2 <sup>d</sup>	27,4	213,5 <sup>c</sup>	41,1	408,6 <sup>b</sup>	79,4
Empower® Clear Brackets	119,7 <sup>b</sup>	36,9	133,2 <sup>b</sup>	34,8	833,1 <sup>c</sup>	275,5
Sierra™ Brackets	167,2 <sup>c</sup>	22,7	150,2 <sup>b</sup>	39,8	288,9 <sup>a</sup>	44,1

\* Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas nos testes *post-hoc*

Tabela 4. Estatística Descritiva Fricção Dinâmica.

Tipo de Bracket	0°		2°		4°	
	Média (gf)*	DP (gf)	Média (gf)*	DP (gf)	Média (gf)	DP (gf)
Straight-Wire Synthesis™	198,6 <sup>d</sup>	34,2	216,0 <sup>d</sup>	21,1	451,7 <sup>c</sup>	79,0
Damon Clear™	30,7 <sup>a</sup>	12,9	37,3 <sup>a</sup>	6,7	210,3 <sup>a</sup>	123,4
Clarity™ ADVANCED Ceramic Brackets	184,6 <sup>d</sup>	17,6	199,9 <sup>d</sup>	42,9	362,5 <sup>b,c</sup>	74,5
Empower® Clear Brackets	112,8 <sup>b</sup>	32,6	118,0 <sup>b</sup>	33,5	829,6 <sup>d</sup>	234,9
Sierra™ Brackets	160,3 <sup>c</sup>	20,2	148,9 <sup>c</sup>	38,3	270,0 <sup>a,b</sup>	37,0

\* Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas nos testes *post-hoc*.

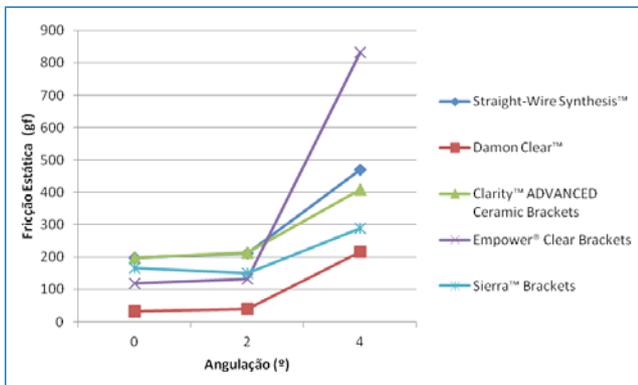


Figura 2. Fricção Estática dos 15 grupos experimentais

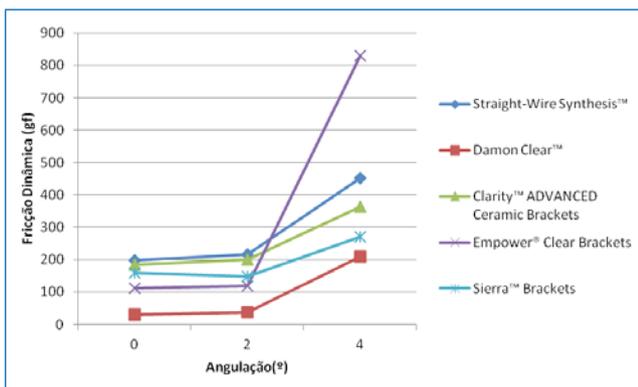


Figura 3. Fricção Dinâmica dos 15 grupos experimentais

riores aos obtidos nos grupos Clarity Advance e StraightWire Synthesis ( $p < 0,05$ ).

Na angulação de 2°, os valores oscilaram entre 38,9 e 213,5 gf. O grupo Damon Clear apresentou valores de fricção significativamente inferiores aos restantes grupos ( $p < 0,05$ ). Os grupos EmpowerClear e Sierra obtiveram valores idênticos entre si mas superiores aos registados para o grupos Damon Clear. Os grupos Straight-wire Synthesis e Clarity Advance registaram valores de fricção estatisticamente superiores aos dos restantes grupos.

Na angulação de 4°, os valores variaram entre 216,2 e 883,1 gf. Na angulação de 4° foram obtidos valores de fricção estática significativamente inferiores para os grupos Damon Clear e Sierra. O grupo Empower Clear apresentou os valores de fricção mais elevados e os grupos Clarity Advance e Straight-wire Synthesis não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si.

Nas angulações mais baixas de 0° e 2°, o grupo Damon Clear apresentou valores de fricção estatisticamente inferiores aos da restante amostra, seguindo-se os grupos Empower Clear e Sierra. Os brackets que apresentaram valores de fricção estatisticamente mais elevados ( $p < 0,05$ ) nas angulações de 2° e 4° foram os Clarity Advance e Straight-Wire Synthesis.

Na angulação de 4°, registaram-se valores entre 210,3 e 829,6 gf. Nesta angulação, os valores do grupo Damon Clear e Sierra foram significativamente inferiores aos da restante amostra

( $p < 0,05$ ). O valor de fricção registado no grupo Sierra foi idêntico ao Clarity Advance e o Clarity Advance registou um valor idêntico ao Straight-wire Synthesis, apresentando o Empower Clear os valores de fricção estatisticamente mais elevados ( $p < 0,05$ ).

## Discussão

Atualmente, um crescente número de pacientes procura soluções estéticas para o tratamento ortodôntico,<sup>36</sup> cabendo ao ortodontista selecionar materiais que complementem a estética com as propriedades biomecânicas, incluindo a fricção.

Neste estudo foram utilizadas 3 angulações de segunda ordem distintas de 0°, 2° e 4°.

A angulação de 0.º encontra-se presente no início da fase de movimento, em que os brackets, após o alinhamento e nivelamento, se encontram paralelos entre si, com espaço livre entre o fio e o bracket, sendo a resistência apenas constituída por fricção clássica.<sup>1</sup>

O valor de 2º corresponde aproximadamente ao valor de ângulo crítico,<sup>13,37</sup> marcando assim o limiar entre a fricção clássica e os fenómenos de *binding* e *notching*.<sup>13</sup>

A angulação de 4º foi escolhida como configuração ativa após início dos fenómenos de *binding*. Estudos anteriores mostram que angulações superiores a 4º provocam um aumento na fricção devido ao contacto entre o fio e os pontos diametralmente opostos do fundo da ranhura do bracket.<sup>4,18</sup>

Neste estudo, as angulações de segunda ordem e o tipo de bracket tiveram um efeito muito significativo sobre a fricção. Estudos anteriores já haviam mostrado que quanto maior a angulação de segunda ordem entre o bracket e o fio ortodôntico, maiores os valores de fricção.<sup>10,19,38,39</sup>

Os valores mais baixos de fricção estática e dinâmica, para todas as angulações, foram obtidos com os brackets Damon Clear. Sendo brackets autoligáveis passivos, o arco não sofre a ação de uma força perpendicular, ao contrário do que sucede com os grupos em que se usaram ligaduras elastoméricas.<sup>39</sup>

Os resultados deste estudo concordam com estudos anteriores, em que os brackets autoligáveis apresentaram valores de fricção menores comparativamente aos convencionais com ligaduras elastoméricas<sup>9,39,40</sup> que, ao pressionarem o arco em direção ao bracket, aumentam a fricção e consequentemente a resistência ao movimento dentário.<sup>41</sup> No entanto, a redução de fricção com brackets autoligáveis passivos é menos significativa quando o fio utilizado preenche totalmente a ranhura do bracket.<sup>40,42</sup>

Os brackets do grupo Sierra são brackets cerâmicos de ranhura metálica que, tal como em estudos anteriores, atingiram valores de fricção inferiores aos registados para os tradicionais brackets totalmente cerâmicos.<sup>43</sup>

Estudos anteriores<sup>13</sup> já haviam verificado que o uso de ranhura em ouro permite valores de fricção mais baixos que os restantes brackets cerâmicos estudados e similares aos registados para os brackets metálicos.

Os brackets Clarity Advance são brackets de cerâmica policristalina<sup>28</sup> que apresentam valores de fricção mais elevados do que brackets metálicos, devido à presença de uma superfície mais rugosa e à presença de fenómenos de *binding*.<sup>8,22,44</sup>

Neste estudo, no entanto, os valores de fricção foram similares aos registados para brackets metálicos convencionais.

Estes brackets são os primeiros a possuir uma película de zircônia estabilizada com yttria (YSZ) na ranhura, resultando numa superfície mais suave que origina menores valores de fricção.<sup>28</sup>

Os brackets EmPower Clear nas angulações inferiores (0° e 2°) apresentaram valores de fricção relativamente baixos, mas em angulações superiores apresentaram os valores de fricção mais altos de toda a amostra.

Estudos anteriores já haviam verificado que os brackets autoligáveis ativos geram valores de fricção mais altos que os autoligáveis passivos.<sup>40</sup>

Este estudo apresenta a limitação de ser um estudo laboratorial. Para permitir uma comparação entre todos os grupos experimentais foram testadas as mesmas angulações para todos os grupos. No entanto, esta comparação é questionável, uma vez que o ângulo crítico de cada bracket depende da sua morfologia e dimensão.<sup>1,19</sup> Desta forma, fenómenos de *binding* e *notching* podem verificar-se em angulações distintas de acordo com o tipo de bracket estudado.<sup>1,4,18,45</sup>

Assim, serão necessários estudos clínicos que permitam compreender o impacto clínico dos resultados obtidos *in-vitro* sobre o tempo de tratamento e forças ortodônticas aplicadas.

## Conclusão

Em conclusão:

- 1) a fricção estática e dinâmica são influenciadas pela angulação de segunda ordem e tipo de bracket;
- 2) o aumento da angulação de segunda ordem aumenta os valores de fricção em todos os brackets;
- 3) brackets Damon Clear obtiveram os valores de fricção mais baixos nas 3 angulações estudadas;
- 4) em angulações superiores (4°) os brackets autoligáveis ativos apresentaram os valores de fricção mais elevados.

## Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de exprimir o seu agradecimento à ORMCO na pessoa da Dra. Elisabete Martinho e à Orthosmile na pessoa do Eng. Hélder Martins pelo material fornecido para o estudo.

## Responsabilidades éticas

**Proteção de pessoas e animais.** Os autores declaram que para esta investigação não se realizaram experiências em seres humanos e/ou animais.

**Confidencialidade dos dados.** Os autores declaram que não foram utilizados dados de pacientes neste artigo.

**Direito à privacidade e consentimento escrito.** Os autores declaram que não foram utilizados dados de pacientes neste artigo.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fernandes N, Leitão J, Jardim L. Influência do tipo de bracket e da angulação de segunda ordem sobre as forças de fricção. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac.* 2005;46:133-43.
2. Fernandes N, Leitão J, Jardim L. Influência do tipo de fio ortodôntico e da angulação de segunda ordem sobre as forças de fricção. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac.* 2007;48:5-14.
3. Redlich M, Mayer Y, Harari D, Lewinstein I. In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124:69-73.
4. Articulo LC, Kusy RP. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;115:39-51.
5. Karim Soltani M, Golfeshan F, Alizadeh Y, Mehrzad J. Resistance to Sliding in Clear and Metallic Damon 3 and Conventional Edgewise Brackets: an In vitro Study. *J Dent (Shiraz).* 2015;16(1 Suppl):15-20.
6. Kang BS, Baek SH, Mah J, Yang WS. Three-dimensional relationship between the critical contact angle and the torque angle. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123:64-73.
7. Kusy RP, Whitley JQ. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *J Biomech.* 1990;23:913-25.
8. Nishio C, da Motta AF, Elias CN, Mucha JN. In vitro evaluation of frictional forces between archwires and ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125:56-64.
9. Leite VV, Lopes MB, Gonini Júnior A, Almeida MR, Moura SK, Almeida RR. Comparison of frictional resistance between self-ligating and conventional brackets tied with elastomeric and metal ligature in orthodontic archwires. *Dental Press J Orthod.* 2014;19:114-9.
10. Tidy DC, Orth D. Frictional forces in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96:249-54.
11. Kusy RP, Whitley JQ. Assessment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. *Angle Orthod.* 1999;69:71-80.
12. Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96:100-9.
13. Kusy RP, Whitley JQ. Frictional resistances of metal-lined ceramic brackets versus conventional stainless steel brackets and development of 3-D friction maps. *Angle Orthod.* 2001;71:364-74.
14. Thortenson BS, Kusy RP. Effects of ligation type and method on the resistance to sliding of novel orthodontic brackets with second order angulation in the dry and wet states. *Angle Orthod* 2003;73: 418-30.
15. Thortenson BS, Kusy RP. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self ligating brackets with second order angulation in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 122: 295-305.
16. Liu X, Ding P, Lin J. Effects of bracket design on critical contact angle. *Angle Orthod.* 2013;83:877-84.
17. Articulo LC, Kusy K, Saunders CR, Kusy RP. Influence of ceramic and stainless steel brackets on the notching of archwires during clinical treatment. *Eur J Orthod.* 2000;22:409-25.
18. Hamdan A, Rock P. The effect of different combinations of tip and torque on archwire/bracket friction. *Eur J Orthod.* 2008;30:508-14.
19. Frank CA, Nikolai RJ. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *Am J Orthod.* 1980;78:593-609.

20. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124:403-9.
21. Taylor NG, Ison K. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *Angle Orthod.* 1996;66:215-22.
22. Cha JY, Kim KS, Hwang CJ. Friction of conventional and silica-insert ceramic brackets in various bracket-wire combinations. *Angle Orthod.* 2007;77:100-7.
23. Tanne K, Matsubara S, Shibaguchi T, Sakuda M. Wire friction from ceramic brackets during simulated canine retraction. *Angle Orthod.* 1991;61:285-90.
24. Spendlove J, Berzins DW, Pruszyński JE, Ballard RW. Investigation of force decay in aesthetic, fibre-reinforced composite orthodontic archwires. *Eur J Orthod.* 2015;37:43-8.
25. Imai T, Watari F, Yamagata S, Kobayashi M, Nagayama K, Toyozumi Y, Nakamura S. Mechanical properties and aesthetics of FRP orthodontic wire fabricated by hot drawing. *Biomaterials.* 1998;19:2195-200.
26. Thorstenson G, Kusy R. Influence of stainless steel inserts on the resistance to sliding of esthetic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. *Angle Orthod.* 2003;73:167-75.
27. Russell JS. Aesthetic orthodontic brackets. *J Orthod.* 2005;32:146-63.
28. AlSubaie M, Talic N, Khawatmi S, Alobeid A, Bourauel C, El-Bialy T. Study of force loss due to friction comparing two ceramic brackets during sliding tooth movement. *J Orofac Orthop.* 2016;77:334-40.
29. Loftus BP, Artun J, Nicholls JI, Alonzo TA, Stoner JA. Evaluation of friction during sliding tooth movements in various bracket-arch wire combinations. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1999; 116: 336-45.
30. Bishara SE, Fehr DE, Jakobsen JR. A comparative study of the debonding strengths of different ceramic brackets, enamel conditioners, and adhesives. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1993; 104: 170-9.
31. Barragan G, Chasqueira AF, Arantes-Oliveira S, Portugal J. Ceramic repair: influence of chemical and mechanical surface conditioning on adhesion to zirconia. *Oral Health Dent Manag.* 2014;13:155-8.
32. Mezomo M, de Lima ES, de Menezes LM, Weissheimer A, Allgayer S. Maxillary canine retraction with self-ligating and conventional brackets. *Angle Orthod.* 2011;81:292-7.
33. Chen SS, Greenlee GM, Kim JE, Smith CL, Huang GJ. Systematic review of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137:726-18.
34. Voudouris JC, Schismenos C, Lackovic K, Kuftinec MM. Self-ligation esthetic brackets with low frictional resistance. *Angle Orthod.* 2010;80:188-94.
35. Shivapuja PK, Berger J. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;106:472-80.
36. Huang ZM, Gopal R, Fujihara K, Ramakrishna S, Loh PL, Foong WC, Ganesh VK, Chew CL. Fabrication of a new composite orthodontic archwire and validation by a bridging micromechanics model. *Biomaterials.* 2003;24:2941-53.
37. Kusy RP, O'Grady PW. Evaluation of titanium brackets for orthodontic treatment: part II. The active configuration. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000;118:675-84.
38. Loftus BP, Artun J. A model for evaluating friction during orthodontic tooth movement. *Eur J Orthod.* 2001;23:253-61.
39. Williams CL, Khalaf K. Frictional resistance of three types of ceramic brackets. *J Oral Maxillofac Res.* 2014;4:e3.
40. Pizzoni L, Ravnholt G, Melsen B. Frictional forces related to self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 1998;20:283-91.
41. Cordasco G, Farronato G, Festa F, Nucera R, Parazzoli E, Grossi GB. In vitro evaluation of the frictional forces between brackets and archwire with three passive self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 2009;31:643-6.
42. Vale F, Maló L, Caramelo F, Ramos J, Cavaleiro J. Dynamic behavior and surface characteristics of conventional and self-ligating brackets. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac.* 2016;57:1-8.
43. Rajakulendran J, Jones S. Static frictional resistances of polycrystalline ceramic brackets with metal slot inserts. *Aust Orthod J.* 2006;22:147-52.
44. Saunders CR, Kusy RP. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1994;106:76-87.
45. Hanson GH. The SPEED system: a report on the development of a new edgewise appliance. *Am J Orthod.* 1980;78:243-65.