

ESTUDOS PARAMÉTRICOS EM SISTEMAS ORTODÔNTICOS

Edson A. Ferreira^a; Carlos A. Cimini Jr.^b; Estevam B. Las Casas^c; Nuno F. Rilo^d

^a*Centro Universitário de Vila Velha (UVV) – Brasil*

^b*Universidade Estadual de Campinas (DPM-FEM-UNICAMP) – Brasil*

^c*Universidade Federal de Minas Gerais (DEES-UFMG) – Brasil*

^d*Universidade de Coimbra – Portugal*

Palavras Chave: estudos paramétricos, sistemas ortodônticos, método dos elementos finitos

Resumo. A aplicação clínica de sistemas ortodônticos ainda carece de informações fundamentais para uma efetiva escolha do sistema mais adequado a um caso específico. A relação entre as forças aplicadas pelo sistema, os parâmetros associados e a resposta observada é então informação de relevância para aplicações clínicas. Nesse trabalho, uma série de estudos paramétricos foi efetuada utilizando-se o método dos elementos finitos em análises não-lineares elásticas, com a finalidade de investigar a influência dos seguintes fatores na aplicação de forças nos dentes através de fios ortodônticos em flexão: (1) variação da altura dos *slots* dos *brackets*; (2) variação da largura dos *slots* dos *brackets*; (3) variação do coeficiente de atrito entre os *brackets*, de aço e de porcelana, e os fios ortodônticos, de ligas de aço inoxidável e de titânio-molibdênio (TMATM) e (4) variação do tipo dos *slots* dos *brackets*. Os modelos, validados por um programa paralelo de ensaios de flexão, apresentaram resultados que demonstraram que uma diminuição da altura ou um aumento da largura dos *slots* dos *brackets* proporciona um aumento das forças desenvolvidas pelos fios. Por outro lado, o aumento do coeficiente de atrito entre o *bracket* e o fio, diretamente relacionado aos materiais em contato, também aumentou a força, seguindo uma ordem crescente para contato entre *bracket* de aço e fio de aço, *bracket* de aço e fio de TMATM, *bracket* de porcelana e fio de aço e *bracket* de porcelana e fio de TMATM. Os *brackets* com forma geométrica incluindo paredes arredondadas produziram forças inferiores aos *brackets* convencionais simples ou geminados.

1 INTRODUÇÃO

Recentemente tem havido crescente interesse na comparação de propriedades de fios ortodônticos, com a introdução de várias opções de fios para uso nos tratamentos das posições dentais. O aço inoxidável era o material tradicionalmente utilizado, tendo surgido posteriormente os fios de ligas de níquel titânio e, em seguida, os fios de liga de titânio molibdênio (Gurgel, Ramos e Kerr, 2001; Gravina et al., 2004).

Fios de materiais compostos reforçados com fibras de vidro já estão comercialmente disponíveis, prometendo mimetizar as propriedades dos fios de aço inoxidável através da variação de sua fração volumétrica. Esse tipo de fio pode atingir um sucesso imediato devido a sua excelência estética, exigência cada vez mais presente nos tratamentos ortodônticos.

Devido à grande variabilidade de fios já disponíveis e também à expectativa de evoluções importantes nos próximos anos, estudos comparativos para os fios atualmente disponíveis são de muito interesse. Acredita-se que os estudos das propriedades dos fios de aço inoxidável ainda continuarão por um período razoável como referência nesta área de estudos.

Com respeito às normas para testes dos fios utilizados em Ortodontia, a pioneira foi a norma da American Dental Association ADA 32 (1977). Depois dela, apesar da grande quantidade de trabalhos sugerindo mudanças para uma melhor adequação dos testes às condições do interior da cavidade oral, apenas em 2006 foi publicada a ISO 15841 (2006) que modificou os padrões de testes para fios ortodônticos.

Apesar dos trabalhos realizados utilizando a antiga norma ADA 32 (1977) como referência ainda serem atualmente muito úteis no processo de seleção de fios ortodônticos, torna-se eminente a necessidade de comparações dos fios à luz das normas atuais. Além disso, apesar da grande quantidade de trabalhos sobre fios publicada nos últimos anos, pouco se sabe sobre a força gerada por cada fio em cada situação. Mesmo quando essa informação está disponível, poucas condições de comparação são oferecidas, já que os estudos apresentam resultados em condições diferentes daquelas prescritas pela norma ISO 15841 (2006), sendo raros aqueles que fazem referência a resultados com o tipo de ensaio recomendado por essa norma.

Tendo em vista a necessidade de se conhecer melhor os fios ortodônticos disponíveis, objetivou-se, neste trabalho, conduzir estudos paramétricos através de simulações numéricas via método dos elementos finitos, com a finalidade de investigar o comportamento desses fios quando testados segundo a norma ISO 15841 (2006). Pretende-se ainda verificar a influência de diversos fatores na rigidez à deflexão desses fios ortodônticos, tais como a inclusão de *brackets* com suas respectivas variações geométricas e de material.

2 METODOLOGIA

Os procedimentos para as simulações numéricas consistiram na realização de análises utilizando-se modelos adequados de maneira a se obter a relação força/deflexão para cada fio e condição testados. Foi utilizada a plataforma comercial de elementos finitos ADINA® (Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis) versão 8.5.

O estudo paramétrico foi estruturado para avaliar: (1) variação da altura dos *slots* dos *brackets*; (2) variação da largura dos *slots* dos *brackets*; (3) variação do coeficiente de atrito entre os *brackets*, de aço e de porcelana, e os fios ortodônticos, de ligas de aço inoxidável e de titânio-molibdênio (TMA™); e (4) variação da forma dos *slots* dos *brackets*.

As simulações numéricas foram efetuadas utilizando-se o modelo bidimensional apresentado na Figura 1. Tal modelo é representativo da montagem experimental para a norma ISO 15841 (2006), acrescido da colocação de dois *brackets* nas regiões dos apoios e um terceiro *bracket* no ponto de aplicação da carga. Nesse modelo foram utilizados 1500

elementos quadriláteros planos com 9 nós. A hipótese de estado plano de tensão foi considerada para representar o problema tridimensional em duas dimensões.

Foi utilizado fio de seção transversal quadrada com dimensão 0,41 mm por 0,41 mm em todas as simulações numéricas. Os materiais utilizados para o fio foram o aço inoxidável, com módulo de elasticidade de 170 GPa e coeficiente de Poisson de 0,3, e uma liga de titânio-molibdênio (TMA™), com módulo de elasticidade de 70 GPa e coeficiente de Poisson de 0,3 (Krishnan e Kumar, 2004). Já para os *brackets* foram adotados os materiais aço inoxidável e porcelana. Hipóteses de contato foram adotadas na região dos apoios e de aplicação de carga, de forma a melhor representar a interação fio-apoio. Os coeficientes de atrito utilizados estão listados na Tabela 1.

<i>Bracket</i>	Aço	Porcelana
Fio de Aço	0,134	0,225
Fio de TMA™	0,248	0,270

Tabela 1: Coeficientes de atrito utilizados nas simulações das diferentes combinações *bracket*-fio (Bággio, Telles C.S. e Domiciano, 2007).

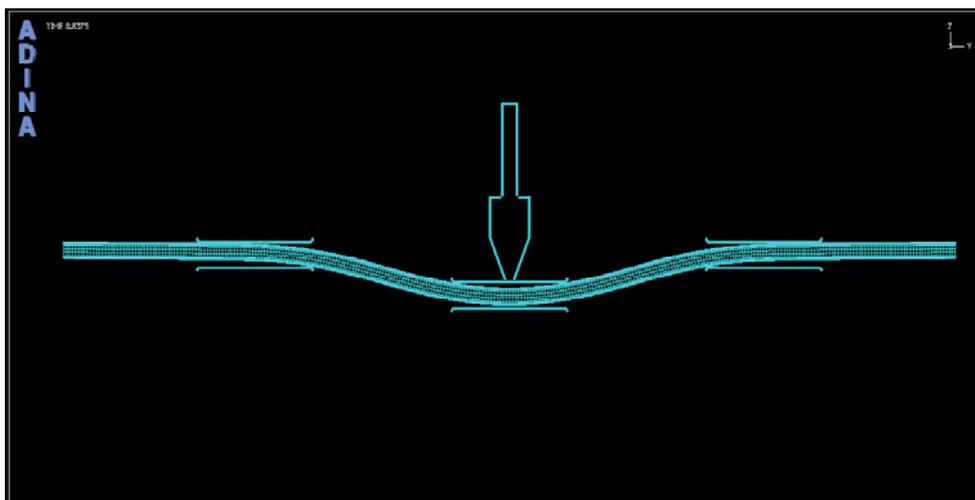


Figura 1: Modelo representando a montagem experimental para a norma ISO 15841 (2006) com a inclusão de *brackets* nos apoios e no ponto de aplicação da carga

Os tipos dos *brackets* considerados foram o *bracket* simples, o *bracket* geminado e o *bracket* com superfícies arredondadas. As geometrias dos *brackets* simples e geminado foram diretamente obtidas do catálogo do fabricante (Dentaurum) e a geometria dos *brackets* com superfícies arredondadas foi obtida nos trabalho de Thortensen e Kusy (2004) como mostra esquematicamente a Figura 2.

Dimensões do fio (mm)	Altura do <i>bracket</i>	
	0,46 mm (N/mm)	0,56 mm (N/mm)
0,41 x 0,41	36,14	31,55
0,41 x 0,56	52,95	46,22
0,46 x 0,64	(*)	79,69
0,48 x 0,64	(*)	97,30

(*) altura do *slot* menor ou igual à dimensão do fio

Tabela 2: Rigidez obtida para simulações com *brackets* de alturas de 0,46 mm e 0,56 mm

3.2 Influência da variação da largura do *bracket*

Embora seja frequente na literatura a afirmação de que a variação das distâncias entre os *brackets* influencia diretamente os esforços gerados pelos fios sobre os dentes, poucos estudos se preocupam com a largura dos *brackets* neste contexto.

Deve-se, então, chamar a atenção, por exemplo, para as alterações que ocorrem quando em testes de fios ortodônticos se varia a largura dos *brackets*. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para a variação da rigidez, definida como o valor de força necessário para se obter um deslocamento unitário no centro do vão. Observa-se um aumento da rigidez do aparelho com o aumento da largura dos *brackets* de até 100% para o caso do fio de 0,48 mm x 0,64 mm.

Dimensões do fio (mm)	Largura do <i>bracket</i>		
	2,4 mm (N/mm)	3,0 mm (N/mm)	3,6 mm (N/mm)
0,41 x 0,41	23,33	31,55	41,88
0,41 x 0,56	33,74	46,22	61,47
0,46 x 0,64	60,45	79,69	107,58
0,48 x 0,64	68,11	97,30	136,22

Tabela 3: Rigidez obtida para simulações com *brackets* de larguras de 2,4 mm, 3,0 mm e 3,6 mm

3.3 Influência do material (coeficiente de atrito) entre o *bracket* e o fio

Com o objetivo de se verificar a influência do atrito entre o *bracket* e o fio na rigidez à flexão do fio, quatro combinações de *brackets* e fios foram simuladas (Tabela 3). A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos. Verificou-se que para uma mesma geometria, os esforços aumentam com o aumento do coeficiente de atrito entre os materiais. Assim, a rigidez foi

maior para o par *bracket* de porcelana e fio de TMA™ (PT), seguido sucessivamente pelos pares *bracket* de aço e fio de TMA™ (AT), *bracket* de porcelana e fio de aço (PA) e, por fim, *bracket* de aço e fio de aço (AA). O uso do par *bracket* de porcelana e fio de TMA™ pode incrementar a rigidez em até 28% quando comparado com o par *bracket* de aço e fio de aço.

Dimensões do fio (mm)	Materiais e coeficientes de atrito			
	AA	PA	AT	PT
	$\mu=0,134$ (N/mm)	$\mu=0,225$ (N/mm)	$\mu=0,248$ (N/mm)	$\mu=0,270$ (N/mm)
0,41 x 0,41	31,55	39,60	40,05	40,24
0,41 x 0,56	46,22	58,01	58,67	58,95
0,46 x 0,64	79,69	100,02	101,16	101,64
0,48 x 0,64	97,30	122,13	123,51	124,10

Tabela 4: Rigidez obtida para simulações de flexão em três pontos com diferentes coeficientes de atrito (μ) entre os materiais do fio e do *bracket*: aço (A), porcelana (P) e liga de titânio-molibdênio TMA™ (T)

3.4 Influência do tipo do *bracket*

Com relação aos três tipos de *brackets* utilizados na simulação numérica, nenhuma diferença foi encontrada entre os *brackets* simples e os *brackets* geminados. No entanto, foi verificada uma importante redução (até 55% para o fio de 0,41 mm x 0,41 mm) na rigidez simulada com o uso de *brackets* com paredes arredondadas ao invés de *brackets* com paredes planas (simples e geminados). A Tabela 5 mostra os resultados obtidos e a Figura 4 mostra um exemplo dessa simulação.

Dimensões do fio (mm)	Tipo do <i>bracket</i>	
	Paredes planas (N/mm)	Paredes arredondadas (N/mm)
0,41 x 0,41	31,55	14,07
0,41 x 0,56	46,22	25,42
0,46 x 0,64	79,69	42,87
0,48 x 0,64	97,30	52,15

Tabela 5: Rigidez obtida para simulações com *brackets* de tipos distintos

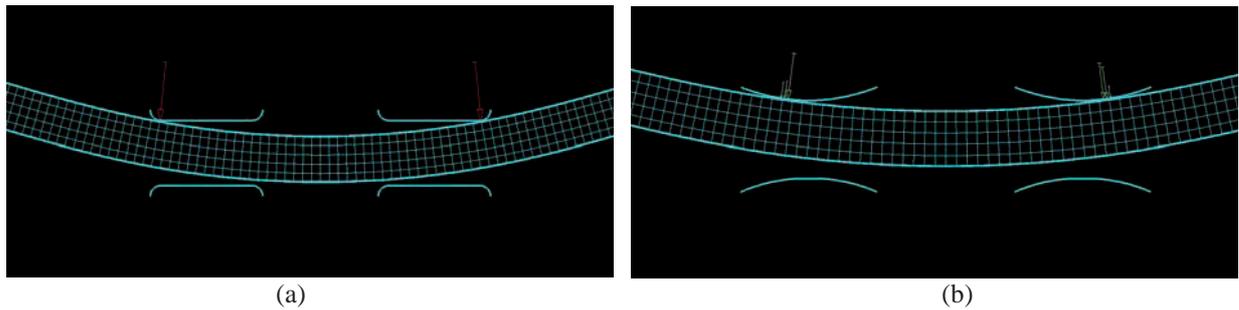


Figura 4: Forças de reação dos *brackets* (a) geminados planos e (b) geminados curvos para simulações numéricas com fio 0,41 mm x 0,41 mm

4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados do estudo paramétrico efetuado através de simulações numéricas, as seguintes observações podem ser efetuadas para cada parâmetro variado:

(1) quanto à influência da variação da altura dos *slots* do *bracket*, verificou-se um aumento das forças em até 15% quando se diminuiu a altura dos *slots* do *bracket*;

(2) em relação à influência da variação da largura dos *slots* do *bracket* observou-se que o aumento da largura acarreta um aumento nas forças produzidas pelos fios que pode chegar a 100% nos casos estudados;

(3) com respeito à influência do contato (e do coeficiente de atrito) entre o material do *bracket* e o material do fio, conclui-se que o aumento do coeficiente de atrito resulta em um aumento das forças medidas nos fios sob flexão, seguindo a ordem crescente de esforços: *bracket* de aço e fio de aço, *bracket* de aço e fio de TMA™, *bracket* de porcelana e fio de aço e *bracket* de porcelana e fio de TMA™, podendo chegar a 28% para os pares fio-*bracket* estudados;

(4) quando foi analisado o tipo dos *brackets*, verificou-se que não houve alteração significativa para *brackets* simples e geminados, ocorrendo, porém uma importante redução (até 55%) nas forças observadas em *brackets* com paredes arredondadas em relação a *brackets* simples e geminados (paredes planas).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES que possibilitou a cooperação internacional através da concessão de verbas para financiamento de viagens e estadias, bem como para a apresentação desse trabalho.

Os autores gostariam ainda de prestar uma homenagem póstuma ao colega e co-autor, Prof. Nuno Ferreira Rilo, de quem foram prematuramente privados da agradável convivência, profícua parceria e a leal amizade. Dedicamos esse trabalho, que contou com sua decisiva participação, à sua memória.

REFERÊNCIAS

ADA 32 - Specification No. 32 for orthodontic wires not containing precious metals, *American Dental Association*, 1977.

- Bággio, P.E., Telles C.S., Domiciano J.B. Avaliação do atrito produzido por braquetes cerâmicos e de aço inoxidável, quando combinados com fios de aço inoxidável. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, 12(1):67-77, 2007.
- Gravina, M.A., Motta, A.T.S., Almeida, M.A.O., Quintão, C.C.A. Fios ortodônticos: propriedades mecânicas relevantes e aplicação clínica. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, 9(1):113-128, 2004.
- Gurgel, J.A., Ramos, A.L., Kerr, S.D. Fios ortodônticos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, 6(4):103-114, 2001.
- ISO 15841 - Dentistry wires for use in orthodontics, *International Organization for Standardization*, 2006.
- Krishnan, V., Kumar, K.J. Mechanical Properties and Surface Characteristics of Three Archwire Alloys. *Angle Orthodontist*, 74(6):825-831, 2004.
- Kusy, R.P. On the use of nomograms to determine the elastic property ratios of orthodontic arch wires. *American Journal of Orthodontics*, 83(5):374-381, 1983.
- Thorstenson. G.A, Kusy R.P. Resistance to sliding of orthodontic brackets with bumps in the slot floors and walls: effects of second-order angulation. *Dental Materials*, 20(9):881-892, 2004.