

Estudo comparativo de diferentes prescrições de braquetes pré-ajustados em modelos virtuais pelo Método de Elementos Finitos

Murilo Fernando Neupmann Feres*, Ênio Tonani Mazzeiro**, Janes Landre Júnior***

Resumo

Objetivos: comparar os efeitos de diferentes prescrições de braquetes pré-ajustados na movimentação dentária dos dentes anterossuperiores, por meio da utilização do Método de Elementos Finitos (MEF). **Métodos:** foi utilizado um modelo tridimensional composto por um incisivo central, um incisivo lateral e um canino, todos do hemiarco superior esquerdo. Esses elementos foram submetidos à atuação de vetores de força que simularam a ação dos pré-ajustes de angulação e torque dos braquetes das prescrições de Alexander, Andrews, Capellozza, MBT, Ricketts e Roth. Após a simulação, os dados referentes ao deslocamento espacial dos pontos incisais e apicais foram registrados de forma que o novo posicionamento admitido pelos longos eixos dentários e seus pontos constituintes fossem determinados. **Resultados:** a maioria das prescrições se comportou similarmente em relação aos parâmetros avaliados. As diferenças significativas encontradas no estudo se referem ao incisivo lateral superior que continha o braquete com a prescrição de Ricketts, que apresentou uma menor inclinação vestibular de seu longo eixo. Além disso, o canino superior da mesma prescrição apresentou uma maior inclinação de seu longo eixo para mesial e uma maior inclinação vestibular de seu longo eixo em relação às outras. A avaliação qualitativa da movimentação do incisivo central superior indicou um maior deslocamento distal dos ápices radiculares para as prescrições cujos autores estipularam maiores valores de angulação (Andrews, Capellozza, Roth e Alexander), e um maior deslocamento vestibular da coroa para as prescrições que estipularam os maiores valores de torque para os incisivos centrais (Ricketts, MBT, Alexander e Roth).

Palavras-chave: Braquetes ortodônticos. Biomecânica. Torque.

* Mestre em Ortodontia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

** Professor doutor da Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

*** Professor doutor da Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

INTRODUÇÃO

O sistema de braquetes pré-ajustados – introduzido por Andrews^{2,3,4} na década de 70, por meio do aparelho Straight-wire – constituiu um importante marco para o desenvolvimento tecnológico da Ortodontia. Desde então, diversos autores^{1,6,17,24,26} desenvolveram novas técnicas e prescrições distintas da original. A disponibilidade de diversas prescrições no mercado faz com que o clínico se sinta inseguro na eleição de sua prescrição de trabalho, principalmente porque esse não conta com o alicerce científico necessário para a fundamentação de sua opção. Além disso, mesmo que haja evidências suficientes da presença de fatores que influenciam a expressão da programação dos braquetes pré-ajustados^{5,7-16,18,19,20,22,23,25,27,29} não há trabalhos na literatura que estabeleçam uma comparação direta entre as diversas prescrições, sem que esses fatores sejam devidamente controlados.

Portanto, justifica-se a execução de um trabalho que se propõe a realizar um estudo comparativo entre as prescrições, de maneira que somente as variáveis referentes aos pré-ajustes preconizados pelos autores de cada programação fossem consideradas.

Sendo assim, o propósito da presente pesquisa foi comparar os efeitos de diferentes prescrições de braquetes pré-ajustados na movimentação dos dentes anterossuperiores, por meio da utilização do Método de Elementos Finitos (MEF).

MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo utilizou um modelo tridimensional²¹ simplificado, composto por um incisivo central, um incisivo lateral e um canino, todos do hemiarco superior esquerdo.

Seis cenários de simulação foram idealizados. As características inerentes aos braquetes, como o seu posicionamento e seus pré-ajustes de angulação e torque – distintos para cada prescrição – variaram para cada cenário estipulado (Tab. 1, 2).

Para simular o efeito da atuação do braquete em cada elemento dentário, foram usados dois

pares de vetores, espacialmente orientados, que representaram as influências de angulação e torque dos braquetes de cada prescrição. Cada um desses pares constituiu-se num binário. O binário referente à angulação foi construído em um plano tangente à face vestibular da coroa dentária, e o binário referente ao torque em um plano normal à mesma. Posteriormente, procedeu-se a orientação de ambos os binários de forma que esses representassem, precisamente, o binário provocado por um braquete que exigisse a expressão total de seus pré-ajustes de angulação e torque de cada prescrição estudada (Fig. 1).

Em seguida, estabeleceu-se o processo de posicionamento dos vetores. No sentido mesiodistal, os dois pares de binários foram centralizados sobre a face vestibular de cada elemento. No sentido vertical, esses foram posicionados de acordo com a técnica de colagem estipulada por cada autor. Os dados utilizados estão presentes na tabela 2, e se referem à altura correspondente ao posicionamento do centro do braquete no momento da colagem. Cada vetor constituinte de um binário foi posicionado de maneira que se distanciasse igualmente do ponto de colagem, em relação a seu par.

Os elementos dentários do presente estudo foram considerados sólidos e isotrópicos, com as propriedades físicas constitutivas do esmalte escolhidas para representá-los. As propriedades elásticas de cada dente foram baseadas nas descritas por Yang, Lang e Felton²⁸, considerando cada elemento dentário com módulo de elasticidade de 21,4MPa e coeficiente de Poisson de 0,31.

Para a construção do modelo em elementos finitos, foi utilizada a malha sólida com elemento tetraédrico. O incisivo central foi composto de 17.697 nós e 74.819 elementos. Para o incisivo lateral gerou-se uma malha de 14.015 nós e 59.739 elementos. Para o canino, esses valores corresponderam a 22.948 nós e 73.059 elementos.

Para definir as condições de contorno, as superfícies que representam a raiz de cada elemento dentário foram restringidas com conectores

TABELA 1 - Torques e angulações para os elementos dentários anterossuperiores.

TORQUE (graus)				
cenário	prescrição	incisivo central	incisivo lateral	canino
1	Alexander	14	7	-3
2	Andrews	7	3	-7
3	Capelozza	7	3	-5
4	MBT	17	10	-7
5	Ricketts	22	14	7
6	Roth	12	8	-2
ANGULAÇÃO (graus)				
cenário	prescrição	incisivo central	incisivo lateral	canino
1	Alexander	5	8	10
2	Andrews	5	9	11
3	Capelozza	5	9	8
4	MBT	4	8	8
5	Ricketts	3	10	8
6	Roth	5	9	13

TABELA 2 - Alturas individuais para os elementos dentários anterossuperiores.

POSICIONAMENTO VERTICAL (mm)				
cenário	prescrição	incisivo central	incisivo lateral	canino
1	Alexander	4,5	4	5
2	Andrews (centro da coroa)	4,47	4,33	4,4
3	Capelozza (centro da coroa)	4,47	4,33	4,4
4	MBT	4,5	4	4,5
5	Ricketts	4,5	4	5
6	Roth	4,5	4,5	5,5

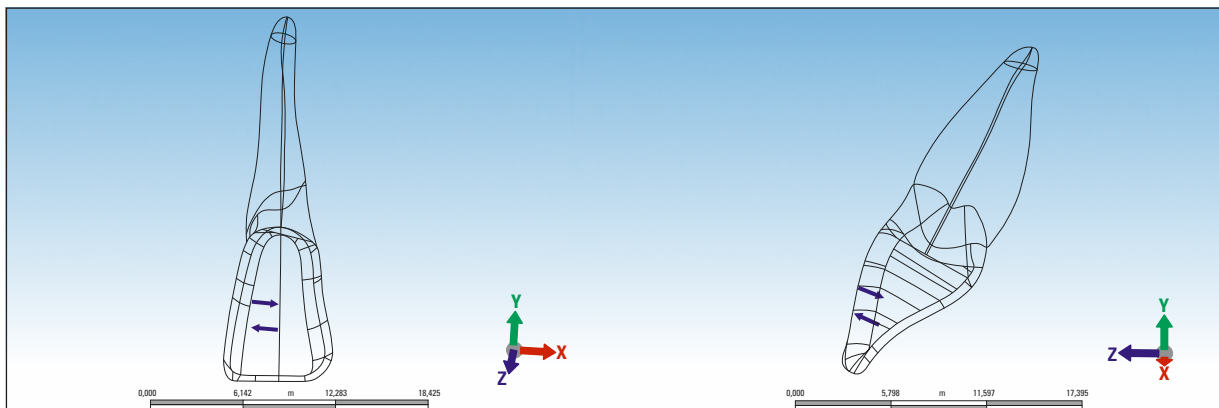


FIGURA 1 - Binários referentes à angulação e ao torque.

elásticos, de forma a simular a característica elástica do ligamento periodontal.

Os procedimentos de adequação do modelo, posicionamento dos vetores de força, bem como suas respectivas orientações, foram realizados pelo *software* Algor® (v. 19.2, Algor Inc., EUA), responsável também pela simulação da movimentação.

Para viabilizar a análise do movimento descrito por cada um dos elementos dentários nos seis cenários estipulados, foram escolhidas as seguintes referências geométricas (Fig. 2):

- Ponto incisal: ponto mais inferior da borda incisal dos incisivos, ou a ponta da cúspide do canino.
- Ponto apical: o ponto localizado no ápice radicular.
- Longo eixo dentário: união dos pontos incisal e apical.

Foram, também, escolhidos dois planos para a observação da movimentação simulada:

- Plano frontal: representa a vista frontal da coroa clínica de cada elemento dentário.
- Plano sagital: representa a vista lateral esquerda da coroa clínica de cada elemento dentário, ortogonal ao seu plano frontal.

Após a simulação, foi gerada uma tabela com os valores dos deslocamentos descritos pelos pontos incisal e apical de cada dente nos três eixos coordenados (x, y e z) para cada prescrição.

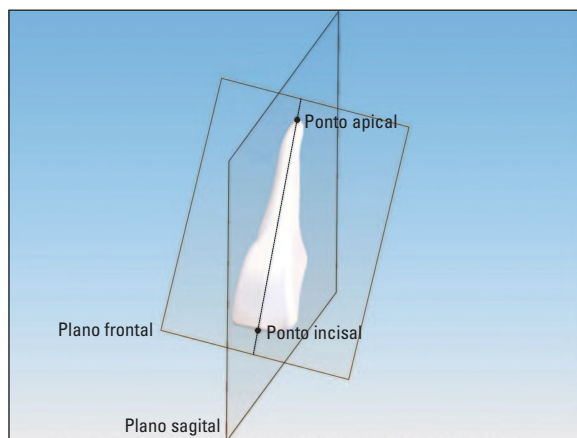


FIGURA 2 - Pontos incisal e apical, e planos frontal e sagital do incisivo central.

Os valores obtidos através da simulação foram, então, matematicamente tratados através do processo de normalização. Esse procedimento permite que os dados referentes aos deslocamentos dos pontos sejam analisados de forma relativa, e não absoluta. O valor normalizado de um certo deslocamento é obtido através da relação estabelecida entre o valor absoluto de deslocamento de um determinado ponto para determinada prescrição e eixo coordenado, sobre o valor da média do deslocamento desse mesmo ponto para todas as prescrições para o mesmo eixo coordenado, conforme a fórmula:

$$D_{\text{normalizado}} = \frac{D_{\text{absoluto}}}{\mu(D)}$$

Onde D é o deslocamento e $\mu(D)$ é a média dos valores do deslocamento.

A partir dos valores normalizados, as coordenadas dos pontos deslocados pela simulação foram obtidas. Assim, os pontos incisal e apical de cada elemento dentário foram, então, recolocados em um desenho do modelo no *software* Solidworks® (versão 3D - 2006, Dassault Systèmes SolidWorks Corp, EUA), que continha os elementos dentários na posição original, previamente à simulação (Fig. 3).

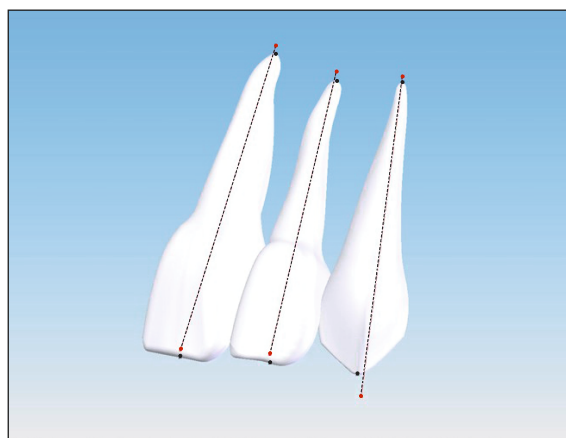


FIGURA 3 - Pontos incisais, apicais e longos eixos dentários deslocados em relação às suas posições, previamente à simulação.

Para viabilizar a comparação dos efeitos simulados em incisivos centrais, incisivos laterais e caninos superiores entre as prescrições, parâmetros que ressaltam as características do novo posicionamento dentário foram criados. Os mesmos são listados a seguir (Fig. 4):

- Deslocamento do ponto apical (d) – distância horizontal entre o ponto apical e uma reta vertical de referência, medida no plano frontal de cada elemento dentário individualmente.
- Angulação frontal (α) – ângulo formado entre o longo eixo dentário e uma reta horizontal de referência, medido no plano frontal de cada elemento dentário individualmente.
- Angulação sagital (β) – ângulo formado entre o longo eixo dentário e uma reta horizontal de referência, medido no plano sagital de cada elemento dentário individualmente.

O critério para se determinar a existência de diferenças significativas entre os resultados foi fundamentado pela experiência clínica dos pesquisadores, que consideraram duas prescrições diferentes entre si em relação a um parâmetro quando:

- os valores referentes ao deslocamento do ponto apical excederam uma discrepância maior que 2 unidades na comparação entre duas prescrições quaisquer;
- os valores referentes às angulações frontal e sagital excederam uma discrepância maior que 3°

na comparação entre duas prescrições quaisquer.

Além da análise dos parâmetros supracitados, foram também confeccionados gráficos que ilustram o comportamento dos pontos incisal e apical do incisivo central, descritos após a simulação.

RESULTADOS

Deslocamentos apicais (d)

Primeiramente, é imperativo mencionar que a avaliação dos resultados obtidos para os deslocamentos apicais deve ser feita de maneira particular. Os valores numéricos apresentados devem ser considerados valores adimensionais, em virtude do processo de normalização empregado. Dessa forma, as magnitudes obtidas devem ser analisadas relativamente umas às outras (Tab. 3).

Os valores referentes ao deslocamento do ponto apical do incisivo central para cada prescrição representaram um movimento semelhante desse ponto em função da prescrição analisada.

Quanto aos valores que representam o deslocamento do mesmo ponto do elemento dentário incisivo lateral, foram também verificados dados semelhantes, o que indica igualdade entre as prescrições, sob esse aspecto de apreciação.

O canino, bem como os incisivos, teve seu ponto apical deslocado em quantidade similar, quando os valores de cada prescrição foram comparados, o que confirma a tendência de ausência de diferenças significativas quanto ao parâmetro referido.

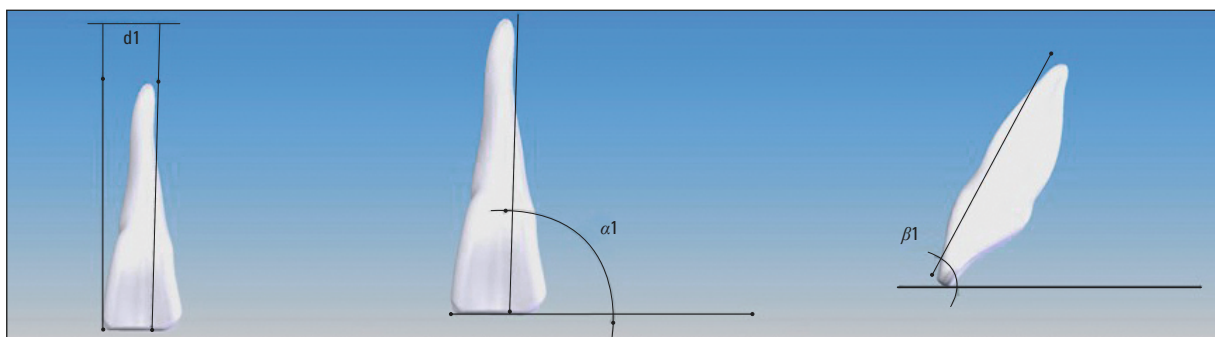


FIGURA 4 - Deslocamento do ponto apical ($d1$), angulação frontal ($\alpha1$) e sagital do incisivo central ($\beta1$).

Angulação frontal (α)

No que se refere à avaliação da angulação frontal dos eixos deslocados, os incisivos centrais obtiveram inclinações bastante parecidas entre si, quando comparados entre as prescrições (Tab. 4).

Tendência semelhante se fez presente na análise da inclinação dos longos eixos dos incisivos laterais no sentido mesiodistal, que demonstraram angulações frontais semelhantes entre si (Tab. 4).

A maioria das prescrições analisadas apresentou igualdade também na angulação frontal dos caninos. A única exceção ocorreu com a prescrição de Ricketts, que apresentou uma inclinação mais acentuada que as demais. Essa discrepância variou de 17,18°, em relação a Andrews, até 17,73°, quando comparada à prescrição MBT (Tab. 4). A maior inclinação do longo eixo dentário do canino de Ricketts indica uma inclinação mesial significativamente mais expressiva.

Angulação sagital (β)

Na análise do novo posicionamento dos longos eixos dentários, sob a perspectiva do plano sagital, foi observada uma situação análoga à tendência descrita pela maioria das medidas analisadas até então (Tab. 5). Para o incisivo central, ínfima variação pôde ser detectada para a angulação sagital descrita em cada cenário de simulação.

Já para o incisivo lateral, embora a maioria das prescrições analisadas tenha apresentado valores semelhantes entre si, a de Ricketts demonstrou destacada diferença na inclinação vestibulolingual de seu incisivo lateral. A diferença variou de 6,08°, quando o dado foi confrontado à prescrição de MBT, até 7,3° em relação à de Andrews. A acentuada angulação sagital apresentada por esse dente indicou uma manifestação de torque vestibular significativamente menor em Ricketts, quando comparada às remanescentes prescrições pesquisadas.

TABELA 3 - Deslocamento apical, para o incisivo central (d1), incisivo lateral (d2) e canino (d3).

parâmetro	Alexander	Andrews	Capellozza	MBT	Ricketts	Roth
d1	5,14	5,15	5,15	5,13	5,12	5,13
d2	3,40	3,48	3,48	3,38	3,36	3,39
d3	4,31	4,34	4,32	4,30	4,14	4,30

TABELA 4 - Angulação frontal para o incisivo central (α_1), incisivo lateral (α_2) e canino (α_3).

parâmetro	Alexander	Andrews	Capellozza	MBT	Ricketts	Roth
α_1	88,34°	88,33°	88,33°	88,38°	88,40°	88,37°
α_2	90,60°	90,61°	90,61°	90,54°	90,44°	90,54°
α_3	88,50°	88,47°	88,76°	89,02°	71,29°	88,55°

TABELA 5 - Angulação sagital para o incisivo central (β_1), incisivo lateral (β_2) e canino (β_3).

parâmetro	Alexander	Andrews	Capellozza	MBT	Ricketts	Roth
β_1	61,75°	61,89°	61,89°	61,52°	61,48°	61,58°
β_2	61,49°	60,45°	61,06°	61,67°	67,75°	61,48°
β_3	61,25°	59,85°	60,79°	61,01°	49,18°	61,02°

Segundo a discrepância referida, considerou-se evidente a importância desse dado.

Quanto aos valores que representam a angulação sagital do canino, todas as prescrições, exceto a de Ricketts, apresentaram valores semelhantes. A discrepância correspondeu a, no mínimo, $10,67^\circ$ – em relação à prescrição de Andrews – e a, no máximo, $12,07^\circ$ de variação quando comparada à de Alexander. Os números indicam que o canino de Ricketts apresentou um torque vestibular mais acentuado e significativamente discrepante dos demais.

ANÁLISE QUALITATIVA DO DESLOCAMENTO DO INCISIVO CENTRAL

Sentido mesiodistal

O gráfico 1 representa os deslocamentos descritos pelos pontos incisal e apical para mesial e distal, respectivamente, decorrentes da simulação. Para o ponto incisal, os resultados pouco variaram entre as prescrições avaliadas. Esse dado atesta que a variação de angulações propostas pelas prescrições estudadas pouco afeta o posicionamento das coroas dentárias, ou mesmo, comprova que essas são insuficientemente diferentes entre si e, por isso, deslocam os pontos incisais das diversas prescrições de maneira similar.

Todavia, segundo esse gráfico, o ponto apical se deslocou para distal com uma intensidade relativamente maior para as prescrições de Andrews e Capelozza, seguidas pelas prescrições de Roth e Alexander. As prescrições de Ricketts e MBT apresentaram a menor movimentação distal do ponto apical. Ou seja, foi detectado um maior movimento do ápice para a distal quanto maior foi a angulação prescrita por determinado autor. Dessa forma, a maior manifestação do deslocamento mesiodistal dos incisivos centrais submetidos à simulação foi observada em seus ápices radiculares, em detrimento da coroa.

Sentido vestibulolingual

O gráfico 2 representa os deslocamentos descritos pelos pontos incisal e apical para vestibular e

lingual, respectivamente, decorrentes da simulação. Em relação aos deslocamentos vestibulares descritos pelo ponto incisal, as maiores movimentações foram observadas para as prescrições de Ricketts, Alexander e MBT. Esse tipo de comportamento foi acompanhado de menores movimentações dos pontos apicais no sentido lingual para essas mesmas prescrições, em relação às demais.

A prescrição de Roth, diferentemente das citadas anteriormente, movimentou os pontos incisal e apical em magnitudes semelhantes.

As prescrições de Andrews e Capelozza, por sua vez, demonstraram comportamentos idênticos entre si, no entanto, de natureza inversa em relação às descritas até então. Isso porque essas apresentaram, em análise relativa, grandes deslocamentos linguais de suas raízes, conjugados a mínimos deslocamentos vestibulares de suas coroas.

Torna-se, portanto, lógica a notoriedade de uma tendência: quanto maior o deslocamento de um ponto, menor a movimentação de seu antagonista para o sentido oposto.

DISCUSSÃO

Os resultados proporcionados pelo presente estudo devem ser considerados com reserva e cautela. Isso porque esses são oriundos de uma simulação que, embora proporcione igualdade de condições à avaliação comparativa das prescrições, é limitada no que se refere à reprodução fiel da realidade. Assim, os parâmetros aferidos na pesquisa devem ser considerados em caráter exclusivamente relativo na análise comparativa entre as prescrições.

O deslocamento apical aferido para os três elementos dentários não detectou nenhuma diferença significativa. Justifica-se esse resultado pela pequena variação entre os valores de angulações prescritos pelos autores, que variam de $+3^\circ$ a $+5^\circ$ para o incisivo central, e de $+8^\circ$ a $+10^\circ$ para o incisivo lateral. Para o canino, a variação da inclinação da coroa clínica prescrita apresenta uma maior amplitude (de $+8^\circ$ a $+13^\circ$). Mesmo assim, essa maior variação não foi suficiente para determinar distinção

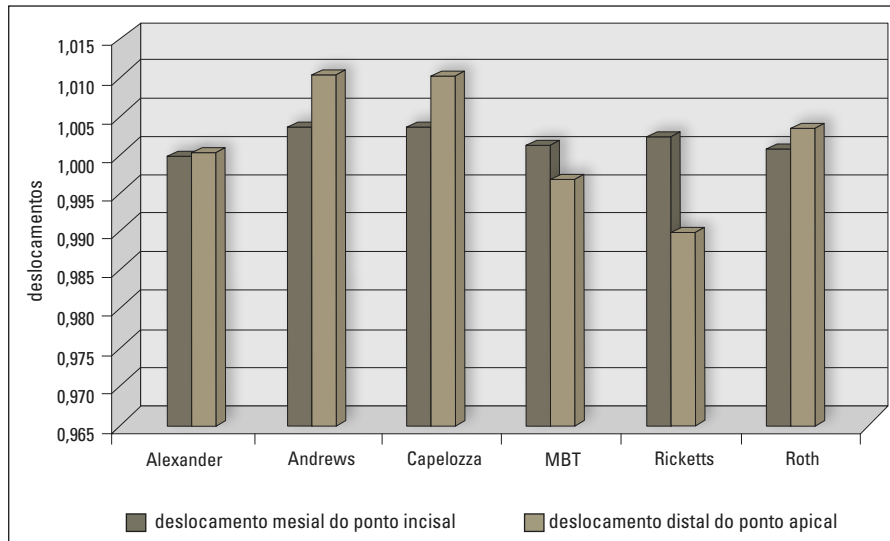


GRÁFICO 1 - Deslocamento mesiodistal do incisivo central.

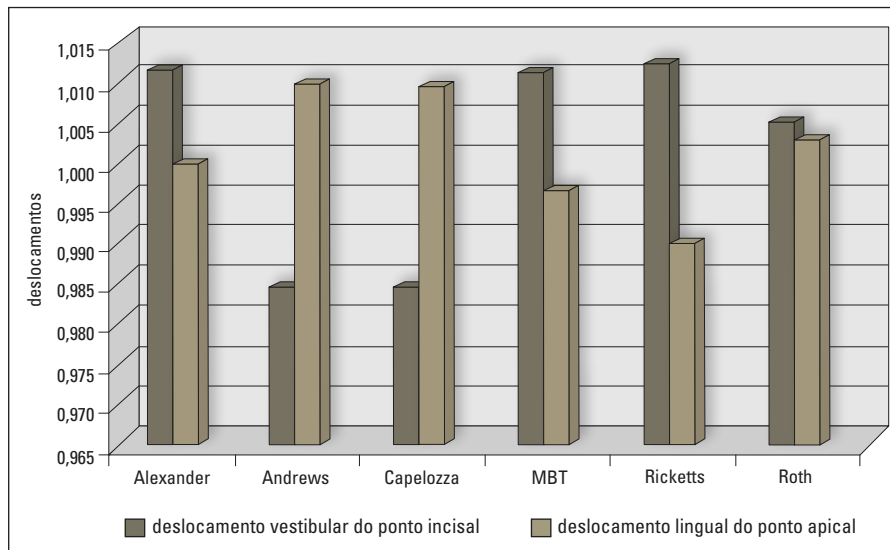


GRÁFICO 2 - Deslocamento vestibulolingual do incisivo central.

entre as prescrições quanto aos deslocamentos do ponto apical no plano de observação frontal. Mesmo que os valores apresentados por esse parâmetro tenham magnitude relativa, é bastante improvável que o deslocamento normalmente exibido pelo ponto apical durante a ativação do braquete viabilize alguma diferença significativa entre as prescrições. Portanto, nota-se que as diversas an-

gulações idealizadas por cada autor influenciam o posicionamento mesiodistal final dos ápices radiculares de maneira bastante similar.

Foi observada uma angulação frontal similar para o incisivo central, quando as prescrições foram comparadas. Esse comportamento foi resultante, novamente, da mínima variação entre os valores de angulações prescritos pelos autores.

Esse fato determinou uma expressiva similaridade de reação observada para os deslocamentos dos pontos incisais, o que foi comprovado pelos dados obtidos pelo gráfico 1. Segundo esse mesmo gráfico, as maiores discrepâncias de deslocamentos foram detectadas para o ponto apical. Esse ponto e, conseqüentemente, a raiz se movimentaram mais para distal em prescrições cujos autores estipularam os maiores valores de angulação para o incisivo central. Dessa forma, pode-se afirmar que o deslocamento descrito por esse dente no sentido mesiodistal sofreu pequena influência das prescrições. Ou, ainda, que a maior manifestação do deslocamento mesiodistal desses dentes foi observada na raiz dentária, em detrimento da sua coroa.

Os incisivos laterais também apresentaram angulações frontais semelhantes entre si. Acredita-se que esse elemento tenha descrito um comportamento semelhante ao incisivo central, uma vez que os valores de angulação estipulados pelos autores para esse dente variam minimamente entre as prescrições.

Para o canino, no entanto, uma prescrição se destacou entre todas as outras. Uma angulação frontal significativamente menor foi apresentada para o canino de Ricketts. Visto que o ponto apical desse dente pouco se modificou no plano frontal de visualização, essa discrepância pode ser atribuída, sobretudo, ao destacado deslocamento do ponto incisal após a simulação. No entanto, acredita-se que esse deslocamento mesial acentuado não seja resultante da prescrição estipulada para a angulação desse dente, visto que essa possui o menor valor angular ($+8^\circ$), quando comparada às outras. Essa divergência pode ter sido resultante do torque prescrito a esse dente que, diferente do prescrito aos caninos das outras prescrições, tem o valor positivo, o que define um comportamento significativamente distinto e, evidentemente, detectável, mesmo em um plano de visualização correspondente à avaliação de angulação. A importância clínica dessa diferença deve ser levada em conta pelos ortodontistas que utilizam a prescrição de Ricketts.

Em relação à inclinação do longo eixo do incisivo central no plano sagital, foram observados valores semelhantes entre as prescrições. Esse dente, durante a sua movimentação, tende a manter a inclinação de seu longo eixo dentário, mesmo que haja, dentre as prescrições, discrepâncias evidentes no comportamento apresentado por um dos pontos de referência. Mesmo que sejam observados deslocamentos significativamente maiores do ponto incisal para vestibular, como nos casos das prescrições de Ricketts, Alexander e MBT, o longo eixo mantém sua inclinação em decorrência da movimentação relativamente menor do ponto apical para a lingual. Para Andrews e Capellozza, ao contrário, um maior deslocamento radicular é observado em relação a todas as outras prescrições. No entanto, esse deslocamento diferencial é insuficiente para consolidar uma distinção significativa entre as prescrições, dada a ínfima movimentação descrita pelo seu ponto incisal no sentido oposto.

Assim, são observados dois padrões específicos de expressão de torque para o incisivo central. O primeiro – exemplificado pelas prescrições de Ricketts, Alexander, MBT e Roth – é fruto de um maior deslocamento vestibular da coroa dentária em relação à raiz, assim como pretendem os idealizadores dessas prescrições. Esse fato ocorre em virtude da angulação acentuada dos vetores de torque aplicados a essas prescrições, que faz com que haja uma extrusão dentária relativa. Com a extrusão, o centro de rotação, previamente localizado sobre o centro de massa do incisivo, é deslocado apicalmente. Com isso, a distância do ponto de aplicação de força na coroa em relação ao centro de rotação aumenta em comparação à situação estática inicial. Assim, a magnitude do momento na coroa é maior, o que provoca maior deslocamento vestibular do ponto incisal (Fig. 5).

O segundo padrão, exemplificado pelas prescrições de Andrews e Capellozza, é resultado de um maior deslocamento lingual da porção radicular em relação à coroa. Esse fato ocorre em razão da reduzida angulação dos vetores de torque

aplicados a essas prescrições, que faz com que haja uma relativa intrusão dentária. Com a intrusão, o centro de rotação, previamente localizado sobre o centro de massa do incisivo, é deslocado coronalmente. Com isso, a distância do ponto de aplicação de força na coroa, em relação ao centro de rotação, diminui comparativamente à situação estática inicial. Assim, a magnitude do momento na coroa é menor, o que provoca menor deslocamento vestibular do ponto incisal (Fig. 6).

Mesmo com esse tipo de diferenciação, os incisivos centrais de todas as prescrições analisadas apresentaram inclinações axiais semelhantes entre si (Fig. 7). Entretanto, é fundamental ressaltar que as prescrições diferiram entre si no que diz respeito à inclinação vestibular do ponto incisal. Os maiores deslocamentos foram observados para as prescrições cujos autores recomendavam maior valor de torque – como Ricketts, MBT, Alexander e Roth. Os menores deslocamentos vestibulares

do ponto incisal foram conferidos às prescrições de Andrews e Capelozza. Sendo assim, é necessário que o ortodontista atente aos torques estipulados para o incisivo central no momento da escolha de sua prescrição de preferência.

O incisivo lateral, assim como o incisivo central, apresentou semelhanças entre a maioria das prescrições investigadas. Mas para Ricketts foi observado um maior valor de angulação, o que contradiz a lógica dos torques estabelecidos pelos autores em questão. Ricketts prescreve o torque mais acentuado para o incisivo lateral (+14°) e, no entanto, esse apresentou o valor correspondente à maior retroinclinação medida nesse estudo para o incisivo lateral. Provavelmente, isso ocorreu porque foi aplicado a ele um binário de torque extremamente angulado, o que resultou em uma decomposição dos vetores resultantes (do binário de torque) com componentes horizontais extremamente pequenos e, por isso, de pequena magnitude (Fig. 8).

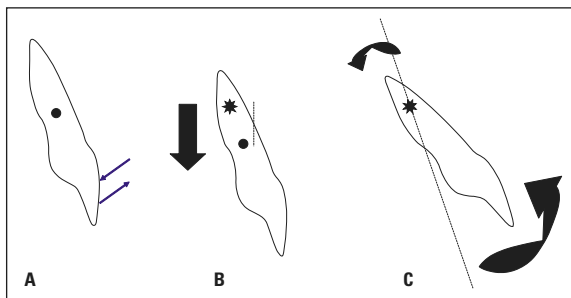


FIGURA 5 - Inclinação vestibular da coroa: **A)** aplicação do binário de torque; **B)** extrusão dentária e deslocamento apical do centro de rotação; **C)** grande deslocamento coronário e pequeno deslocamento apical.

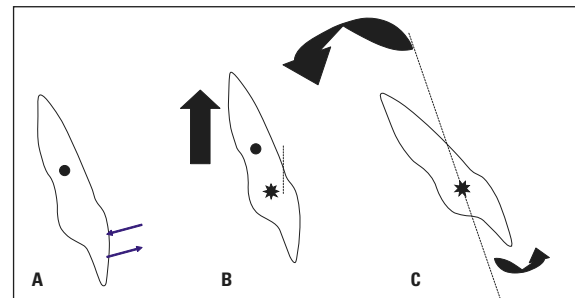


FIGURA 6 - Inclinação lingual da raiz: **A)** aplicação do binário de torque; **B)** intrusão dentária e deslocamento coronal do centro de rotação; **C)** pequeno deslocamento coronário e grande deslocamento apical.

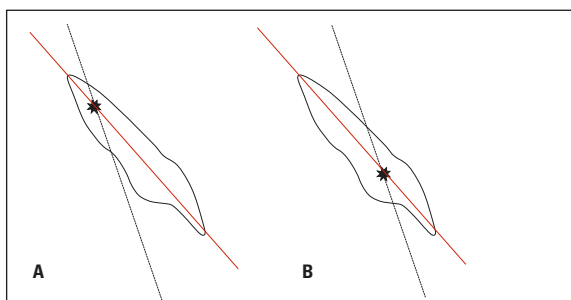


FIGURA 7 - Angulação sagital final **(A)** com movimento coronário predominante; ou com movimento radicular predominante **(B)**.

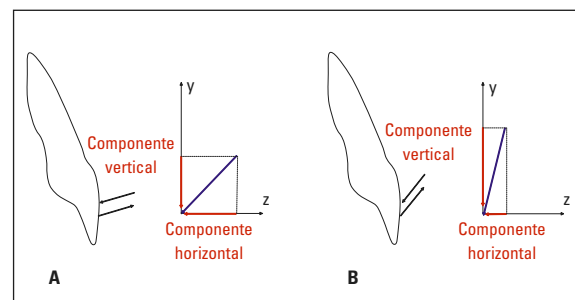


FIGURA 8 - Decomposição de um dos vetores do binário de torque em prescrição de menor **(A)** ou maior torque **(B)** para o incisivo lateral de Ricketts.

Dessa forma, o momento resultante provocado pelo binário de torque excessivamente inclinado, também será de pequena magnitude, uma vez que esse é o produto da força do componente horizontal de um dos vetores do binário de torque e a distância entre as duas forças (Fig. 9).

Para o canino, a mesma prescrição se distinguiu dentre todas. O canino de Ricketts apresentou a menor angulação sagital e, por isso, o maior torque vestibular de coroa. Esse resultado evidencia a particularidade dessa prescrição em relação à programação estipulada para o torque do canino, sendo positivo em detrimento das demais.

À exceção de Ricketts, os resultados de angulação sagital para incisivos laterais e caninos foram semelhantes entre as prescrições. Porém, deve-se salientar que os valores obtidos por essa pesquisa não correspondem às inclinações dos longos eixos das coroas clínicas, e sim às inclinações vestibulolinguais do longo eixo de todo o dente. A análise gráfica pormenorizada do incisivo central possibilitou a identificação de variações significativas quanto ao posicionamento vestibulolingual da coroa desse dente. Dessa forma, a possibilidade de que haja variação entre as prescrições quanto ao posicionamento final da coroa também para incisivos laterais e caninos não deve ser descartada.

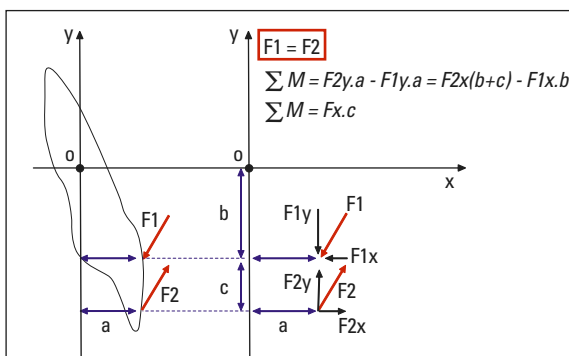


FIGURA 9 - Decomposição dos vetores do binário de torque e cálculo do somatório de momentos.

ΣM : somatório dos momentos; **F1**: vetor 1 do binário de torque; **F1x**: decomposição de F1 em x; **F1y**: decomposição de F1 em y; **F2**: vetor 2 do binário de torque; **F2x**: decomposição do vetor F2 em x; **F2y**: decomposição do vetor 2 em y; **O**: centro de massa do incisivo lateral; **a**: menor distância dos vetores decompostos em y a O; **b**: menor distância de F1x a O; **c**: distância entre F1x e F2x.

CONCLUSÃO

Não foi objetivo desse estudo instituir comparações entre “tratamentos ortodônticos” distintos entre si. O trabalho visa, tão somente, a comparação entre os “efeitos proporcionados pelos braquetes” de prescrições distintas, já que o tratamento ortodôntico, como um todo, compreende uma abordagem complexa e detalhada que leva em conta não só as características intrínsecas da aparelhagem, mas, sobretudo, particularidades de diagnóstico e da má oclusão, do planejamento estipulado, mecânica empregada e habilidade profissional.

Os principais achados do estudo são listados a seguir:

- Os deslocamentos apresentados pelos pontos apicais dos dentes anterossuperiores não apresentaram diferenças significativas entre as prescrições.
- As angulações frontais apresentadas pelos longos eixos dos incisivos centrais e laterais superiores não apresentaram diferenças significativas entre as prescrições.
- A angulação frontal do canino superior de Ricketts apresentou um valor significativamente maior em relação às outras prescrições, o que indicou uma maior inclinação de seu longo eixo para mesial.
- As angulações sagitais apresentadas pelos longos eixos dos incisivos centrais não apresentaram diferenças significativas entre as prescrições.
- A angulação sagital do incisivo lateral superior de Ricketts apresentou um valor significativamente maior em relação às outras prescrições, o que indicou um menor torque vestibular de coroa.
- A angulação sagital do canino superior de Ricketts apresentou um valor significativamente menor em relação às outras prescrições, o que indicou um maior torque vestibular de coroa.
- A avaliação qualitativa da movimentação mesiodistal do incisivo central superior foi caracterizada por um pequeno grau de variação entre as prescrições em relação aos deslocamentos mesiodistais do ponto incisal. Além disso, foi verificado um maior deslocamento distal dos ápices

radiculares para as prescrições cujos autores estipularam maiores valores de angulação (Andrews, Capelozza, Roth e Alexander). Isso indicou uma pequena influência dos valores estipulados sobre o deslocamento mesiodistal das coroas dentárias ou, ainda, que a maior manifestação desse movimento se deu em localização radicular.

- A avaliação qualitativa da movimentação vestibulolingual do incisivo central superior foi caracterizada pela definição evidente de dois padrões de movimentação nesse sentido. As prescrições que estipularam os maiores valores de torque para os incisivos centrais determinaram um maior deslocamento vestibular da coroa e um menor

deslocamento lingual da raiz dentária. As prescrições que estipularam os menores valores de torque para os incisivos centrais determinaram um maior deslocamento lingual da raiz e um menor deslocamento vestibular da coroa dentária. Em razão dos padrões citados, as inclinações vestibulolinguais dos longos eixos dos incisivos centrais foram mantidas.

Enviado em: abril de 2007
Revisado e aceito: fevereiro de 2008

Comparative study of different pre-adjusted brackets prescriptions on virtual models, by Finite Elements Method

Abstract

Aim: The aim of the present study was to compare the effects of different prescriptions on anterior superior tooth movement simulation through a Finite Element Method (FEM). **Methods:** It was utilized a 3D model, which was comprised of an upper left central and lateral incisors, and a upper left cuspid. These elements were subjected to force vectors which simulated tip and torque pre-adjustments of Alexander, Andrews, Capelozza, MBT, Ricketts, and Roth brackets. After the referred simulation, data concerning the spatial displacement of the incisal and apical points were registered in order to determine the position newly assumed by the teeth long axis, as well as its constituent points. **Results:** Most of the prescriptions reacted similarly to the simulation, regarding to the evaluated parameters. However, significant differences were found. Ricketts' lateral incisor presented the smallest buccal inclination of its long axis. Moreover, Ricketts' upper left cuspid presented the greatest mesial and buccal inclination of its long axis. A qualitative analysis performed with the upper central incisor indicated that there was a larger distal movement of the apical points for the prescriptions whose authors advocated the greatest tip values (Andrews, Capelozza, Roth and Alexander). Furthermore, it was observed pronounced crown buccal displacements for the prescriptions whose authors indicated greatest torque values (Ricketts, MBT, Alexander and Roth).

Keywords: Orthodontic brackets. Biomechanics. Torque.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, R. G. The vari-simplex discipline: Part 1- concept and appliance design. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 17, no. 6, p. 380-392, June 1983.
- ANDREWS, L. F. The straight-wire appliance: origin, controversy, commentary. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 10, no. 2, p. 99-114, Feb. 1976.
- ANDREWS, L. F. The straight-wire appliance: explained and compared. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 10, no. 3, p. 174-195, Mar. 1976.
- ANDREWS, L. F. The straight-wire appliance: arch form, wire bending & an experiment. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 10, no. 8, p. 581-588, Aug. 1976.
- BRYANT, R. M.; SADOWSKY, P. L.; HAZEIRIG, J. B. Variability in three morphologic features of the permanent maxillary central incisor. **Am. J. Orthod.**, St. Louis, v. 86, no. 1, p. 25-32, July 1984.
- CAPELOZZA, L. F. et al. Individualização de braquetes na técnica de straight-wire: revisão de conceitos e sugestão de indicações para uso. **Rev. Dental Press Ortodon. Ortop. Facial**, Maringá, v. 4, n. 4, p. 87-106, jul./ ago. 1999.
- CREEKMORE, T. D. The importance of interbracket width in orthodontic tooth movement. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 10, no. 7, p. 530-534, July 1976.
- CREEKMORE, T. D.; KUNIK, R. L. Straight wire: the next generation. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 104, no. 1, p. 8-20, July 1993.
- DAVIS, H. D. Torquing in class: an interesting twist for orthodontists. **Br. J. Orthod.**, Oxford, v. 14, no. 3, p. 199-202, July 1987.
- DELLINGER, E. L. A scientific assessment of the straight-wire appliance. **Am. J. Orthod.**, St. Louis, v. 73, no. 3, p. 290-299, Mar. 1978.
- FERGUSON, J. W. Torque-in-base: another Straight-wire myth? **Br. J. Orthod.**, Oxford, v. 17, no. 1, p. 57-61, Feb. 1990.
- GERMANE, N.; BENTLEY, B.; ISAACSON, R. J. Three biologic variables modifying faciolingual tooth angulation by straight-wire appliances. **Am. J. Orthod.**, St. Louis, v. 96, no. 4, p. 312-319, Oct. 1989.
- GERMANE, N.; BENTLEY, B.; ISAACSON, R. J.; REVERE, J. H. J. The morphology of canines in relation to preadjusted appliances. **Angle Orthod.**, Appleton, v. 60, no. 1, p. 49-54, Spring 1990.
- GIOKA, C.; ELIADES, T. Materials-induced variation in the torque expression of preadjusted appliances. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 125, no. 3, p. 323-328, Mar. 2004.
- HUSSELS, W.; NANDA, R. S. Effect of maxillary incisor angulation and inclination on arch length. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 91, no. 3, p. 233-239, Mar. 1987.
- JANSON, G.; VASCONCELOS, M. H.; BOMBONATTI, R.; FREITAS, M. R.; HENRIQUES, J. F. C. Considerações clínicas sobre o posicionamento vertical dos acessórios. **Rev. Dental Press Ortodon. Ortop. Facial**, Maringá, v. 5, n. 3, p. 45-51, maio/jun. 2000.
- McLAUGHLIN, R. P.; BENNET, J. C. Bracket placement with the preadjusted appliance. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 29, no. 5, p. 302-311, May 1995.
- MELING, T. R.; ODEGAARD, J.; MELING, E. On mechanical properties of square and rectangular stainless steel wires tested in torsion. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 111, no. 3, p. 310-320, Mar. 1997.
- MEYER, M.; NELSON, G. Preadjusted edgewise appliances: Theory and practice. **Am. J. Orthod.**, St. Louis, v. 73, no. 5, p. 485-498, May 1978.
- MIETHKE, R. R.; MELSEN, B. Effect of variation in tooth morphology and bracket position on first and third order correction with preadjusted appliances. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 116, no. 3, p. 329-335, Sept. 1999.
- OLIVEIRA, S. G. **Desenvolvimento de modelo tridimensional de elementos finitos de maxila e mandíbula para estudo das deformações e deslocamentos resultantes dos contatos dentários**. 2003. Dissertação (Mestrado)—Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- RAPHAEL, E.; SANDRIK, J. L.; KLAPPER, L. Rotation of rectangular wire in rectangular molar tubes. Part I. **Am. J. Orthod.**, St. Louis, v. 80, no. 2, p. 136-144, June 1981.
- RESS, C. L. A finishing technique for the straight-wire appliance. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 22, no. 1, p. 29-31, Jan. 1988.
- RICKETTS, R. M. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs: Part I. **Am. J. Orthod.**, St. Louis, v. 70, no. 3, p. 241-268, Sept. 1976.
- ROSS, V. A.; ISAACSON, R. J.; GERMANE, N.; RUBENSTEIN, L. K. Influence of vertical growth pattern on faciolingual inclinations and treatment mechanics. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 98, no. 5, p. 422-429, Nov. 1990.
- ROTH, R. H. The straight-wire appliance 17 years later. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 21, no. 9, p. 633-642, Sept. 1987.
- SCHWANINGER, B. Evaluation of the straight arch wire concept. **Am. J. Orthod.**, St. Louis, v. 74, no. 2, p. 189-196, Aug. 1978.
- YANG, H.; LANG, L. A.; FELTON, D. A. Finite element stress analysis of the effect of splinting in partial dentures. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v. 81, no. 6, p. 721-728, 1999.
- ZACHRISSON, B. U. JCO/interviews Dr. Bjorn U. Zachrisson on excellence in finishing. Part 2. **J. Clin. Orthod.**, Boulder, v. 20, no. 8, p. 536-556, Aug. 1986.

Endereço para correspondência

PUC-Minas - Mestrado em Odontologia
 Av. Dom José Gaspar, 500, Prédio 46, Sala 101
 Bairro Coração Eucarístico
 CEP: 30.535-901 - Belo Horizonte/MG
 E-mail: mazzieiro@pucminas.br/muriloneupmann@yahoo.com.br