

Atendendo solicitação da
autora, o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 11/04/2027



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Karina Tostes Borsato

Caracterização dos mini parafusos extra alveolares, propriedades físicas e mecânicas e estudo de elementos finitos de sua aplicação na distalização dos dentes inferiores

Araraquara

2023



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Karina Tostes Borsato

Caracterização dos mini parafusos extra alveolares, propriedades físicas e mecânicas e estudo de elementos finitos de sua aplicação na distalização dos dentes inferiores

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas, na Área de Ortodontia

Orientador: Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Júnior

Araraquara

2023

B738c	<p data-bbox="438 1393 662 1417">Borsato, Karina Tostes</p> <p data-bbox="438 1435 1184 1541">Caracterização dos mini parafusos extra alveolares, propriedades físicas e mecânicas e estudo de elementos finitos de sua aplicação na distalização dos dentes inferiores / Karina Tostes Borsato. -- Araraquara, 2023</p> <p data-bbox="459 1556 512 1581">79 p.</p> <p data-bbox="438 1635 1169 1700">Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara</p> <p data-bbox="459 1715 855 1740">Orientador: Luiz Gonzaga Gandini Júnior</p> <p data-bbox="438 1794 1161 1899">1. Procedimentos de ancoragem. 2. Ortodontia corretiva. 3. Testes mecânicos. 4. Microscopia eletrônica de varredura. 5. Análise de elementos finitos. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Karina Tostes Borsato

Caracterização dos mini parafusos extra alveolares, propriedades físicas e mecânicas e estudo de elementos finitos de sua aplicação na distalização dos dentes inferiores

Comissão julgadora

Tese para obtenção do grau de Doutor em Ortodontia

Presidente e orientador Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Júnior

2º Examinador Profa. Dra. Ana Claudia Moreira Melo Toyofuku

3º Examinador Profa. Dra. Priscila Ayub

4º Examinador Prof. Dr. Luís Geraldo Vaz

5º Examinador Prof. Dr. Ary dos Santos Pinto

Araraquara, 11 de abril de 2023.

DADOS CURRICULARES

Karina Tostes Borsato

NASCIMENTO: 08/04/1981, Poços de Caldas, MG.

FILIAÇÃO: Antônio Luiz Borsato

Marcia Tostes Borsato

2000/2003: Curso de Graduação em Odontologia: Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP

2006/2008: Curso de Pós-Graduação: Especialização em Ortodontia. Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP

2018/2020: Curso de Pós-Graduação: Mestrado pelo programa de Ciências Odontológicas. Área de concentração em Ortodontia: Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP

2020/atual: Curso de Pós-Graduação: Doutorado pelo programa de Ciências Odontológicas. Área de concentração em Ortodontia: Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP

2022/2023: Professora substituta do Departamento de Morfologia e Clínica Infantil, no Conjunto de Disciplinas de Ortodontia Preventiva I, Ortodontia Preventiva II, Ortopedia Funcional dos Maxilares da Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP

Com todo amor, dedico esse trabalho à minha filha Helena e aos meus quatro anjinhos. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço a **Deus** pela vida, por me guiar e me proteger. Obrigada por mais um sonho se tornar realidade.

À minha querida e amada filha **Helena**, que soube entender meus dias ausentes e me encheu do mais puro e verdadeiro amor a cada retorno. Mamãe te ama, minha princesa!

Ao meu esposo, **Alexandre**, pelo amor, apoio e incentivo durante nossa caminhada. Obrigada por estar sempre comigo! Te amo!

Aos meus amados pais, **Marcia** e **Antônio** por serem meus exemplos de vida. Obrigada por todo apoio e por estarem presentes a cada conquista. Amo vocês.

À minha irmã **Karen**, obrigada por sempre estar presente na minha vida, pelos conselhos e palavras amigas. Amo você.

A minha querida mamãe de Araraquara, **Tereza**, obrigada pelas orações, pelo carinho, apoio e cuidado com nossa Helena durante minha ausência.

Aos meus queridos **familiares e amigos** de Poços de Caldas e Araraquara que me incentivaram, apoiaram e torceram por essa conquista.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Júnior**, por me incentivar a seguir em frente e acreditar no meu potencial. Obrigada pelos preciosos ensinamentos ao longo desses anos. À sua esposa **Marcia** pela amizade e pelos agradáveis momentos juntos.

Aos professores da Disciplina de Ortodontia que acompanharam toda minha formação acadêmica e hoje também fizeram parte dessa conquista com seus ensinamentos: **Prof. Dr. Ary dos Santos Pinto** obrigada por sua amizade, generosidade, incentivo e atenção na realização desse trabalho. **Prof. Dr. João Roberto Gonçalves** obrigada pelo carinho, amizade e conhecimentos transmitidos ao longo desses anos. **Prof. Dr. Dirceu Barnabé Raveli** obrigada por todos os ensinamentos, apoio e amizade

sempre recebidos. **Prof. Dr. Lucas Arrais Campos** obrigada pela amizade e parceria nesse estudo.

Ao querido **Prof. Dr. Luis Geraldo Vaz**, meu primeiro orientador, ainda na graduação e hoje fazendo parte dessa conquista. Obrigada por me incentivar!

Às **Profa. Dra. Priscila Vaz Ayub Almeida e Profa. Dra. Ana Cláudia Moreira Melo Toyofuku**, que prontamente aceitaram o convite para participar da banca avaliadora desse trabalho com seus ricos conhecimentos.

Aos queridos amigos de pós-graduação. Obrigada pelo companheirismo, apoio e amizade sempre recebidos durante essa jornada!

AGRADECIMENTOS

À **Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”**, em nome do Reitor Prof. Dr. Pasqual Barretti e Vice-Reitora Profa. Dra. Maysa Furlan.

À **Faculdade de Odontologia de Araraquara** da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, na pessoa do atual Diretor Prof. Dr. Edson Campos e da Vice-Diretora, Profa. Dra. Patrícia P. Nordi Sasso Garcia, pelas condições oferecidas para a realização desta pesquisa.

Ao **Programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas** da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP, representado pela coordenadora Profa. Dra. Andreia Bufalino e pelo vice coordenador Prof. Dr. Milton Carlos Kuga.

Aos demais professores e funcionários do **Departamento de Morfologia Clínica Infantil** e demais departamentos da Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP, pela amizade, bom convívio e que me receberam sempre com carinho.

Aos **funcionários da Seção de Pós-Graduação** da Faculdade de Odontologia de Araraquara- UNESP, especialmente ao Cristiano Lamounier e José Alexandre Garcia por toda gentileza e cooperação.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo nº 2020/15490-7) pelo apoio financeiro essencial para realização dessa pesquisa.

A Scitec e todos seus colaboradores, em nome de Darlan Dallacosta, pelo auxílio nesse estudo.

Ao Instituto de Química e seus colaboradores pelo auxílio nas análises de MEV.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito obrigada.

“Imagine uma nova história para sua vida e acredite nela.”
Paulo Coelho*

* Nota: Trecho do texto "Recriando o Passado", publicado em 09/10/2009 na coluna de Paulo Coelho, no site Globo.com

Borsato KT. Caracterização dos mini parafusos extra alveolares, propriedades físicas e mecânicas e estudo de elementos finitos de sua aplicação na distalização dos dentes inferiores [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

RESUMO

Introdução: Os mini parafusos ortodônticos extra alveolares são amplamente utilizados para obtenção ancoragem esquelética máxima, graças à versatilidade biomecânica e por serem dispositivos minimamente invasivos. **Objetivos:** O objetivo do estudo 1 e 2 foi comparar 5 marcas comerciais de mini parafusos extra alveolares. O estudo 3 avaliou o comportamento do arco inferior durante a distalização dentária total ancorada em mini parafuso extra alveolar (*buccal shelf*) com diferentes linhas ação de força. **Materiais e métodos:** Os estudos 1 e 2 compararam por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e ensaios mecânicos (torque de inserção e remoção, torque máximo de fratura e tração) 5 marcas comerciais de mini parafusos extra alveolares: Bioray, Dat Steel, Morelli, OBS e Peclab (n=80). No estudo 3, foi realizada a análise de elementos finitos (FEA) com 14 diferentes simulações de distalização do arco inferior ancorada em mini parafuso extra alveolar na região de *buccal shelf*. **Resultados:** A MEV do estudo 1 mostrou o polimento adequado nas marcas B, C e D. Há divergência no comprimento do parafuso divulgado pelo fabricante e o tamanho real, somente as marcas C e E possuem 12mm de comprimento de roscas. Todas as marcas estudadas têm a quantidade e a distância entre as roscas distintas. No estudo 2 foi observado que o torque de inserção foi maior que o torque de remoção nas marcas B, C e E durante a inserção e remoção das 4 primeiras roscas e, na marca C e com inserção e remoção completa do parafuso. Os limites de resistência registrados nos ensaios de tração foram significativamente maiores que a força máxima utilizada no movimento dentário ortodôntico. Não houve diferença entre os parafusos constituídos de titânio e aço. No estudo 3, alterando a altura no mini parafuso e mantendo o gancho anterior entre canino e pré-molar, observamos a tendência de rotação anti-horária do plano oclusal em conjunto com a distalização dos dentes mandibulares. Aumentando a distância do mini parafuso em relação ao plano oclusal para a região mais cervical (-5°, -10° e -15°), há o aumento componente intrusivo na região anterior. O mesmo ocorre alterando a posição do gancho anterior entre os pré-molares. Alterando a altura do gancho anterior, observamos o movimento de distalização com rotação anti-horária dos dentes mandibulares e a extrusão anterior diminui à medida que aumentamos a linha de ação de força (5°, 10° e 15°). A intrusão posterior é mais evidente à medida que aumentamos o comprimento do gancho anterior. Não há inclinação das coras dos dentes anteriores para vestibular.

Conclusões: Os mini parafusos tem características diferentes entre si, sendo assim o clínico deve ficar atento às suas necessidades para a escolha, tendo em vista o tamanho, quantidade de roscas, comprimento e liga metálica desse dispositivo. O torque de inserção nas quatro primeiras roscas foi estatisticamente menor quando comparado à inserção de total; algumas marcas apresentaram torque de remoção maior que o de inserção; a velocidade de inserção é distinta entre as marcas estudadas; as ligas de titânio e aço apresentaram comportamento semelhante no torque máximo de inserção e remoção; liga de titânio apresentou menor variabilidade quando comparados aos parafusos de aço na máxima resistência ao escoamento; a resistência à tração foi diferente entre as marcas. No estudo 3, todas as simulações apresentaram a rotação anti-horária dos dentes mandibulares; gancho anterior na

altura no arco e modificando a altura do mini parafuso: quanto mais cervical, menor a tendência extrusão dos dentes anteriores mandibulares; mini parafuso *buccal shelf* na altura do arco e modificando a altura do gancho anterior: intrusão posterior e anterior; gancho entre C e PM existe a inclinação para vestibular dos incisivos inferiores.

Palavras-chave: Procedimentos de ancoragem ortodôntica. Ortodontia corretiva. Testes mecânicos. Microscopia eletrônica de varredura. Análise de elementos finitos.

Borsato KT. Extra-alveolar mini screws characterization, physical and mechanical properties and, finite elements study of their application in the lower teeth distalization [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

ABSTRACT

Introduction: Orthodontic miniscrews are widely used for maximum skeletal anchorage, thanks to their biomechanical versatility and minimally invasive devices. Currently, a wide variety of extra-alveolar skeletal anchorage devices are available.

Objectives: Studies 1 and 2 compared 5 commercial brands of extra alveolar mini screws. Study 3 evaluated the inferior arch behavior during total dental distalization anchored in a mini extra alveolar mini screw (buccal shelf) with different lines of force.

Materials and methods: Studies 1 and 2 compared with scanning electron microscopy (SEM) and mechanical tests (insertion and removal torque, maximum fracture, and traction torque) 5 commercial brands of extra alveolar mini screws: Bioray, Dat Steel, Morelli, OBS, and Peclab (n=80). In study 3, finite element analysis (FEA) was performed with 14 different simulations of lower arch distalization anchored in an extra alveolar mini screw in the *buccal shelf* region. **Results:** The SEM of study 1 showed fine polishing in brands B, C, and D. There is a divergence in the screw length disclosed by the manufacturer and the actual size, only brands C and E have 12mm of thread length. All the brands studied have the amount and distance between the threads distinct. In study 2 it was observed that the insertion torque was higher than the removal torque in the B, C, and E brand during the insertion and removal of the first 4 threads and, in the C mark with insertion and complete removal of the screw. The resistance limits recorded in the traction tests were significantly higher than the maximum force used in orthodontic tooth movement. There was no difference between the screws consisting of titanium and stainless steel. In study 3, by changing the mini screw height and maintaining the power arm between the canine and premolar, we observed counterclockwise rotation of the occlusal plane with the mandibular teeth distalization. Increasing the mini screw distance in relation to the occlusal plane to the more cervical region (-5°, -10°, and -15°), the intrusive component increases in the anterior region. Changing the power arm position between the premolars the same occurs. We observe the distalization movement with counterclockwise rotation of the mandibular teeth changing the power arm height and the anterior teeth extrusion decreases as we increase the action line force (5°, 10°, and 15°). Posterior dental intrusion is more evident as we increase the power arm length. There is no vestibular inclination in the anterior teeth. **Conclusions:** The mini screws have different characteristics from each other, so the clinician should be aware of your needs for the choice, given the size, number of threads, length, and metal alloy of this device. The insertion torque in the first four threads was statistically lower when compared to the total thread insertion; some brands presented removal torque greater than the insertion torque; the insertion speed is distinct between the studied brands; titanium and stainless steel alloys showed similar behavior in the maximum insertion and removal torque; titanium alloy exhibits less variability when compared to stainless steel screws at maximum yield strength; tensile strength was different between brands. In study 3, all simulations showed the counterclockwise rotation of mandibular teeth; power arm at the arch height, modifying the mini screw height more cervical, we see the mandibular anterior teeth less extrusion tendency; buccal shelf mini screw at the arch height, modifying the power arm height we see the mandibular posterior and anterior teeth intrusion; power arm between canine and premolar, the lower incisors vestibular inclination is present.

Keywords: Orthodontic anchorage procedures. Orthodontics corrective. Mechanical tests. Microscopy, Electron, Scanning. Finite element analysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 PROPOSIÇÃO	17
2.1 Objetivos Específicos	17
3 PUBLICAÇÕES	18
3.1 Publicação 1	19
3.2 Publicação 2	33
3.3 Publicação 3	55
4 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	73
ANEXO	75

1 INTRODUÇÃO

Os mini parafusos ortodônticos foram idealizados a partir de Gainsforth e Higley 1945¹ e sua evolução foi constante. São amplamente utilizados para obtenção ancoragem esquelética máxima^{2,3}. Graças à versatilidade biomecânica e por serem dispositivos minimamente invasivos, são indicados para obtenção de ancoragem máxima, na realização de movimentos amplos ou assimétricos, na ausência de dentes de suporte, quando há limitação da técnica e falta de colaboração paciente⁴.

A configuração do mini parafuso é dividida em três regiões: cabeça, colar ou transmucoso e ponta ativa. Devem ser confeccionados de materiais atóxicos e biocompatíveis, além de apresentarem propriedades mecânicas favoráveis a resistência à pressão e à tensão⁴. Os parafusos disponíveis no mercado são, na grande maioria, constituídos de aço inoxidável ou titânio, ambas as ligas apresentam a mesma eficiência clínica^{5,6}. O tamanho da porção ativa varia de 1 a 2,3 mm de diâmetro e 4 a 21 mm de comprimento⁷, entretanto há maior risco de fratura durante a inserção de mini parafusos de menor diâmetro, principalmente em áreas de maior densidade óssea⁸. A escolha do tamanho do parafuso é realizada de acordo com o sítio de inserção, os quais podem ser: região interradicular⁹, palato¹⁰, sínfise mentoniana, espinha nasal⁴, crista infra zigomática, *buccal shelf*^{11,12}.

A crista infra zigomática (IZC) e a região de *buccal shelf* mandibular (MBS) são considerados locais seguros e eficientes para realizar a ancoragem esquelética durante os movimentos de distalização bimaxilar, por não causarem interferência na raízes durante o deslocamento dentário^{7,13,14}. Chang et al.¹³ mostraram que os mini parafusos instalados na região de *buccal shelf* são uma excelente opção para retração de todos os dentes da arcada inferior, com uma taxa de falha primária de 7%⁷. Já região maxilar, a crista infra zigomática é o local de escolha para distalização total ancorada em mini parafuso extra alveolar, tanto aço quanto titânio, com taxa de sucesso de 93,7% e risco mínimo de fratura.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) possibilita avaliar o design e características de superfície dos mini parafusos extra alveolares de forma precisa. Utilizando um microscópio eletrônico de varredura que trabalha em uma faixa de alto vácuo, com 2kv de aceleração de voltagem, fotomicrografias de várias magnitudes, partindo de 25x, podem ser obtidas e as regiões de interesse estudadas¹⁵.

O comportamento dos mini parafusos extra alveolares pode ser testado por meio dos ensaios mecânicos, garantindo sua confiabilidade e segurança durante o uso. Os ensaios mecânicos que avaliam parafusos incluem torque de inserção e remoção, ensaio de torção até a fratura e teste de tração ou arrancamento¹⁶.

A análise de elementos finitos (FEA), é uma ferramenta matemática confiável e precisa para análise da movimentação dentária ortodôntica logo após a aplicação de uma força^{17,18}. Permite o cálculo da tensão e deformação desenvolvida em um sólido geométrico submetido a forças externas¹⁹, além disso, é uma ferramenta analítica que permite o estudo preciso da transferência de carga da coroa para as estruturas de suporte via ligamento periodontal (LP) e a adaptação subsequente do alvéolo durante movimento dentário ortodôntico²⁰. Esta análise possibilita quantificar o movimento inicial do dente imediatamente após a aplicação da força ortodôntica e avaliar a biomecânica do movimento de uma forma não destrutiva²¹. A FEA foi sugerida como uma solução para complexas questões biomecânicas e tem sido aplicada em vários casos em Ortodontia, a fim de avaliar o centro de resistência, vários aspectos biomecânicos de movimentação dentária, diferentes aparelhos fixos, modalidades de tratamento cirúrgico, deslocamento e procedimentos de retenção²².

Há uma grande variedade de dispositivos de ancoragem esquelética extra alveolar disponível para utilização. Porém, para obtenção de resultados satisfatórios e previsíveis, dependemos da qualidade desses parafusos. O comparativo entre as marcas comerciais ajuda o clínico na melhor escolha do dispositivo de ancoragem extra alveolar. Já a FEA permite a visualização dos possíveis efeitos frente à biomecânica escolhida na ação de forças ancoradas em mini parafusos extra alveolares na região de *buccal shelf*.

4 CONCLUSÃO

Essa tese demonstrou por meio de 3 publicações a caracterização dos mini parafusos extra alveolares sua propriedades físicas e mecânicas e estudo de elementos finitos de sua aplicação na distalização dos dentes inferiores. A primeira publicação demonstrou que, mesmo apresentando as mesmas medidas, os mini parafusos extra alveolares tem características diferentes entre si, sendo assim o clínico deve ficar atento às suas necessidades para a escolha, tendo em vista o tamanho, quantidade de roscas, comprimento e liga metálica desse dispositivo. No estudo 2, os ensaios mecânicos possibilitaram visualizar as diferenças de torque de inserção e remoção, torque de ruptura e tração entre as marcas avaliadas. Por fim, o estudo 3 concluiu que as diferentes alturas de instalação de mini parafusos extra alveolares atuando em conjunto com ganchos anteriores posicionados em diferentes alturas resultam em movimentos distintos, podendo ser aplicados à prática clínica ortodôntica.

REFERÊNCIAS*

1. Gainsforth BL, Higley L. A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. *American J Orthod Oral Surg.* 1945; 31(8): 406-417.
2. Almeida MR. Biomechanics of extra-alveolar mini-implants. *Dental Press J Orthod.* 2019; 24(4): 93-109.
3. Chen G, Teng F, Xu T. Distalization of the maxillary and mandibular dentitions with miniscrew anchorage in a patient with moderate Class I bimaxillary dentoalveolar protrusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2016; 149(3): 401-10. doi:10.1016/j.ajodo.2015.04.041.
4. Melsen B. Mini-implants: where are we? *J Clin Orthod.* 2005; 39(9): 539-547.
5. Mecnas P, Espinosa DG, Cardoso PC, Normando D. Stainless steel or titanium mini-implants? A systematic review. *Angle Orthod.* 2020; 90(4): 587-97. doi:10.2319/081619-536.1.
6. Brown RN, Sexton BE, Gabriel Chu TM, Katona TR, Stewart KT, Kyung HM et al. Comparison of stainless steel and titanium alloy orthodontic miniscrew implants: a mechanical and histologic analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2014; 145(4): 496-504. doi:10.1016/j.ajodo.2013.12.022.
7. Chang C, Liu SSY, Roberts WE. Primary failure rate for 1680 extra-alveolar mandibular buccal shelf mini-screws placed in movable mucosa or attached gingiva. *Angle Orthod.* 2015; 85(6): 905-10. doi:10.2319/092714.695.1.
8. Wilmes B, Panayotidis A, Drescher D. Fracture resistance of orthodontic mini-implants: a biomechanical in vitro study. *Eur J Orthod.* 2011; 33(4): 396-401. doi:10.1093/ejo/cjq151.
9. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod.* 2006; 76(2): 191-97. doi:10.1016/s0084-3717(08)70462-8.
10. Marques M, Genta PR, Azarbarzin A, Sands SA, Taranto-Montemurro L, Messineo L et al. Retropalatal and retroglossal airway compliance in patients with obstructive sleep apnea. *Respir Physiol Neurobiol.* 2018; 258: 98-103. doi:10.1016/j.resp.2018.06.008.
11. Liu H, Wu X, Yang L, Ding Y. Safe zones for miniscrews in maxillary dentition distalization assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2017; 151(3): 500-6. doi:10.1016/j.ajodo.2016.07.021.
12. Chang CCH, Lin JSY, Yeh HY. Extra-alveolar bone screws for conservative correction of severe malocclusion without extractions or orthognathic surgery. *Curr Osteoporos Rep.* 2018; 16(4): 387-94.
13. Chang CH, Lin JS, Roberts WE. Failure rates for stainless steel versus titanium alloy infrazygomatic crest bone screws : a single-center , randomized double-blind clinical trial. *Angle Orthod.* 2019; 89(1): 40-6. doi:10.2319/012518-70.1.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

14. Hsu E, Lin J, Yeh H, Chang C, Robert E. Comparison of the failure rate for infra- zygomatic bone screws placed in movable mucosa or attached gingiva. *Int J Orthod Implant*. 2017; 47(1): 96-106.
15. Squeff LR, Bernard M, Simonson DA, Elias CN, Nojima LI. Caracterização de mini-implantes utilizados na ancoragem ortodôntica. *R Dent Press Ortodon Ortop Facial*. 2008;13(5): 49-56.
16. ASTM. F543 17 Standard specification and test methods for metallic medical bone screws. *In: ASTM International*; 2017:1-18. doi:10.1520/F0543-17.
17. Cattaneo P, Melsen B. The finite element method: a tool to study orthodontic. *J Dent Res*. 2005; 85(5): 428-33.
18. Kojima Y, Kawamura J, Fukui H. Finite element analysis of the effect of force directions on tooth movement in extraction space closure with miniscrew sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2012;142(4): 501-8. doi:10.1016/j.ajodo.2012.05.014.
19. Konda P, Sa T. Basic principles of finite element method and its applications in orthodontics. *J Pharm Biomed Anal*. 2012; 16(16): 8.
20. Cattaneo PM, Cornelis MA. Orthodontic tooth movement studied by finite element analysis: an update. what can we learn from these simulations? *Curr Osteoporos Rep*. 2021;19(2): 175-81. doi:10.1007/s11914-021-00664-0.
21. Farah JW, Craig RG, Sikarskie DL. Photoelastic and finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar. *J Biomech*. 1973; 6(5). doi:10.1016/0021-9290(73)90009-2.
22. Papageorgiou S, Keilig L, Hasan I, Jager A, Bourauel C. Effect of material variation on the biomechanical behaviour of orthodontic fixed appliances: a finite element analysis. *Eur J Orthod*. 2016; 38(3): 300-7.
23. Ayub BPV, Oliviera CB, Santos-Pinto A. Distalization and occlusal plane rotation associated with miniscrews. *IJO*. 2020; 31(1): 33-7.
24. Kim YB, Bayome M, Park JH, Mo HJLS, Kook NKLY. Displacement of mandibular dentition during total arch distalization according to locations and types of TSADs: 3D finite element analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2019; 22: 46-52. doi:10.1111/ocr.12256.